

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-069107

(43)Date of publication of application : 07.03.2003

---

(51) Int. Cl. H01L 43/06  
G01R 33/07  
G11B 5/37  
H01F 10/16  
H01L 27/105  
H01L 43/04  
H01L 43/10

---

(21)Application number : 2001- (71)Applicant : HITACHI LTD  
254930

(22)Date of filing : 24.08.2001 (72)Inventor : TAKAHASHI HIROMASA

---

### (54) MAGNETIC FIELD SENSOR AND MAGNETIC HEAD

#### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To sense external magnetic fields by means of a magnetic field sensor using a Hall effect.

SOLUTION: In the sensor section of the magnetic field sensor, a material containing a magnetic material, such as a compound material of FeN, etc., having a large abnormal Hall effect, a magnetic semiconductor having a zinblende structure, an oxide having a perovskite structure, etc., is used. The sensor is formed in an element-like shape that can induce a magnetic field in the in-plane direction of a film by respectively arranging the current terminal and voltage terminal of the film in the thickness direction and in-plane direction of the film.

---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.07.2004

[Date of sending the examiner's  
decision of rejection]

[Kind of final disposal of  
application other than the  
examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for  
application]

[Patent number] 3955195

[Date of registration] 11.05.2007

[Number of appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The field sensor characterized by having the 1st electrode layer, the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively.

[Claim 2] It is the field sensor characterized by being the ferromagnetic film or antiferromagnetism film containing at least one kind of element with which said magnetic film was chosen from iron, cobalt, nickel, and manganese in the field sensor according to claim 1.

[Claim 3] It is the field sensor characterized by \*\*\*\*\* by at least one kind of element with which said magnetic film was chosen from iron, cobalt, nickel, manganese, vanadium, and chromium in the field sensor according to claim 1, a gallium and arsenic, an indium, antimony, silicon, germanium, the tellurium, the zinc oxide, the

ferromagnetic film that consists of a compound with a semiconductor material with the zinc blende structure containing at least one chosen from the titanite-acid group, or the antiferromagnetism film.

[Claim 4] It is the field sensor characterized by being at least one kind of element with which said magnetic film was chosen from iron, cobalt, nickel, manganese, vanadium, and chromium in the field sensor according to claim 1, a gallium and arsenic, an indium, antimony, silicon, germanium, a tellurium, a zinc oxide, the ferromagnetic film that produced the semiconductor material containing at least one of the titanium oxide by carrying out a laminating, or the antiferromagnetism film.

[Claim 5] It is the field sensor characterized by being the ferromagnetic film or the antiferromagnetism film with the perovskite structure containing three or more kinds of elements with which said magnetic film was chosen from a lanthanum, strontium, calcium, manganese, boron, copper, and oxygen in the field sensor according to claim 1.

[Claim 6] The 1st electrode layer and the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The field sensor characterized by detecting the electrical potential difference which generates a current between a sink, said 3rd electrode, and the 4th electrode between said 1st electrode and 2nd electrode.

[Claim 7] The 1st electrode layer and the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The field sensor characterized by detecting the electrical potential difference which generates a current between a sink, said 1st electrode, and the 2nd electrode between said 3rd electrode and 4th electrode.

[Claim 8] The 1st electrode layer and the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The component which detects the electrical potential difference which generates a current between a sink, said 3rd electrode, and the 4th electrode between said 1st electrode and 2nd electrode Two or more implications, The field sensor characterized by connecting to a serial

the electrode which detects the electrical potential difference of each component, and connecting each electrode so that the current of at least one component may flow to other components and hard flow.

[Claim 9] The 1st electrode layer and the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The component which detects the electrical potential difference which generates a current between a sink, said 1st electrode, and the 2nd electrode between said 3rd electrode and 4th electrode Two or more implications, The field sensor characterized by connecting to a serial the electrode which detects the electrical potential difference of each component, and connecting each electrode so that the current of at least one component may flow to other components and hard flow.

[Claim 10] The magnetic head characterized by using the field sensor of claim 1-7 given in any 1 term as said field sensor in the magnetic head containing the field sensor arranged between magnetic shielding of a pair which consists of lower magnetic shielding and up magnetic shielding, and magnetic shielding of said pair.

[Claim 11] In the magnetic head containing the field sensor arranged between magnetic shielding of a pair which consists of lower magnetic shielding and up magnetic shielding, and magnetic shielding of said pair said field sensor The 1st electrode layer and the 1st magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, The 2nd electrode layer formed on said 1st magnetic film, and the 2nd magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 2nd electrode layer is shown, the 3rd electrode layer formed on said 2nd magnetic film — having — said the 1st magnetic film and 2nd magnetic film — a medium opposed face — abbreviation — the magnetic head characterized by detecting the electrical potential difference which generates the current of an parallel direction between a sink, said 1st electrode layer, and the 3rd electrode layer.

[Claim 12] In the magnetic head containing the field sensor arranged between magnetic shielding of a pair which consists of lower magnetic shielding and up magnetic shielding, and magnetic shielding of said pair said field sensor The 1st electrode layer and the 1st magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, The 2nd electrode layer formed on said 1st magnetic film, and the 2nd magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 2nd electrode layer is shown, the medium opposed face which is equipped

with the 3rd electrode layer formed on said 2nd magnetic film, impresses a current between said 1st electrode layer and 3rd electrode layer, and is generated in said the 1st magnetic film and 2nd magnetic film -- abbreviation -- the magnetic head characterized by compounding and detecting the electrical potential difference of an parallel direction.

[Claim 13] Magnetic shielding of a pair which consists of lower magnetic shielding and up magnetic shielding, In the magnetic head containing the magnetic York film which draws an elongation field in the component height direction inside from the location which it has been arranged between magnetic shielding of said pair, and was exposed to the medium opposed face, and a field sensor The magnetic film which said magnetic sensor shows the abnormality hall effect by which it was formed on the 1st electrode layer and said 1st electrode layer, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The magnetic head characterized by being arranged in the location which retreated from the medium opposed face of said magnetic York film at the cutting section of said magnetic York film.

[Claim 14] It is the magnetic head to which lay length with said field sensor parallel to a medium side is characterized by the \*\*\*\*\* from lay length perpendicular to a medium side in the magnetic head according to claim 11, 12, or 13.

[Claim 15] The field sensor film which records information, and the bit line linked to said field sensor film, The word line which is in the location distant from said field sensor film, and counters with said bit line on both sides of said field sensor film, and intersects perpendicularly with said bit line, and performs record actuation to said field sensor film, In the magnetic storage component in which the cel equipped with the multiplier system which amplifies a record signal, and the read-out word line which switches read-out writing has the structure arranged in parallel [ two or more ] The magnetic storage component characterized by being the field sensor of claim 1-9 given in any 1 term by which said field sensor contains the ferromagnetic which shows an abnormality hall effect.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to a field sensor and the magnetic head excellent in especially re-biodegradation ability about the magnetic head for reproducing the information recorded on the field sensor and magnetic disk for sensing a field.

[0002]

[Description of the Prior Art] The recording density in a magnetic recorder and reproducing device is continuing remarkable improvement, and the magnetic-recording reproducing head has the high demand of high-performance-izing about both the properties of record and playback. About the playback component, it is required that the technique of three points of improvement in (1) high-sensitivity-ized technique, the improvement in narrow-ized technical of (2) width of recording track, and improvement in the narrow-ized technique of (3) playback gap spacing should be raised. About (1), high sensitivity-ization is advanced by developing the MR head using a magneto-resistive effect. Although the magnetic signal on a record medium was changed into the electrical signal using the anisotropy magneto-resistive effect (AMR) in the low recording density of a number ( $Gb/in^2$ ), if it becomes the high recording density exceeding this, it has corresponded to this high recording density using the giant magneto-resistance (GMR) from which high sensitivity is obtained more. The structure called a spin bulb, for example to JP, 4-358310, A is describing the magnetic head using GMR. The spin bulb is constituted from the fixed bed which consists of the magnetic substance with which magnetization was fixed in the specific direction, and a free layer which consists of a magnetic film with which the laminating was carried out to this fixed bed through the nonmagnetic thin film by the antiferromagnetism layer, and electric resistance changes at the relative include angle of magnetization of the fixed bed and a free layer.

[0003] However, the new playback system for coping with the further high sensitivity-ization is needed by progress of high-sensitivity-izing of these days. the advance GMR effectiveness now called the specular GMR which aimed at increase of an output according to the multiple echo effectiveness of electronic spin on both sides of the rate ingredient of the hyperpolarization, or the oxide layer to the interface of GMR structure, and NOL-GMR as this candidate -- or GMR (CPP-GMR) and the tunnel magneto-resistive effect (TMR) of the method which passes a detection current are leading for a direction perpendicular to a film surface.

[0004] Such effectiveness is based on application of the magnetic-reluctance change phenomenon in a magnetoelectric effect. Here, a hall effect is also a kind of an electromagnetic effect, and when a field is impressed in the direction which intersects perpendicularly with the current which flows the inside of the matter, it is the phenomenon which an electrical potential difference generates in a current and the direction which intersects perpendicularly with both of a field. The hall effect is recognized for many years and the carrier consistency and the electronic scattering coefficient are involving. A semi-conductor is used for an ingredient and it is applied to field measurement as a hall device by the end of today. The attempt which is going to apply this to the magnetic head is indicated by JP, 2-308409, A etc. In this case, like the hall device which consists of a semi-conductor, the electrode of four terminals of a current terminal and an electrical-potential-difference terminal is taken within a film surface, it is the method which measures a signal field perpendicular to a film surface, and the thing which superimposed two of these, and the device (differential mold) which senses the reversal part of a field is proposed by using the structure where component thickness is narrower than bit spacing of magnetic recording. Moreover, the fundamental principle over the Men inner magnet mind record is proposed as a field sensor which used the abnormality hall effect of 3d metal for JP, 9-289344, A.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Since it is a field sensor using the structure where a difficult point, and CPP-GMR and TMR it is [ TMR ] a still high sensitivity magnetic-reluctance sensor pass a sense current perpendicular to a film surface that a record component takes out record field sufficient by the conventional Men inner magnet mind recording method when the prospective structure of a playback component is considered, it is thought that it comes to shift to the structure of passing the sense current of a CPP method. However, when such structure is adopted and component area of the magnetic-reluctance sensor film is made small, the volume which the magnetic film thickness in which the sensor film is constituted from a detail and thin-film-izing occupies [ a magnetic-reluctance sensor component ] becomes small, the magnetization rocks by heat fluctuation, and the new problem of it becoming impossible to secure a predetermined magnetization ratio arises. [0006] Although the present semi-conductor hall device ingredient has an advantage from output voltage being linearity about wide range field measurement to a field fundamentally when a hall effect is used, the output to a minute field is small. Moreover, since these semiconductor

materials are generally nonmagnetic (diamagnetism), when a field sensor is constituted, they are difficult to centralize the leakage field from a record medium in the sensor section, and they are difficult to raise sensibility. To make the field sensor of high sensitivity from such film, the sensor film with large making it structure which a field concentrates on the sensor section and output to a magnetic field is required.

[0007] This invention aims at offering structure applicable to the magnetic head or MRAM, and a field sensor with a configuration in view of the trouble of a field sensor of having used such a hall effect.

[0008]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, a field sensor consists of this inventions using the ingredient in which an abnormality hall effect (magnetic-substance hall effect) is shown. This field sensor detects the signal containing an abnormality hall effect component by impressing a field.

[0009] Drawing 1 is drawing showing the field B about an ingredient with a hall effect, and an ingredient with an abnormality hall effect, and the relation of the Hall voltage  $V_h$ . The field sensor using the conventional hall effect (normal hall effect), especially the thing currently used as a hall device used nonmagnetic semi-conductors, such as InSb. Output (Hall resistance)  $\rho_H$  at this time is a value which sets an external magnetic field (flux density) to B, is described to be  $\rho_H = R_H B$  so that drawing 1 may also show, and is proportional to an external magnetic field B. Here,  $R_H$  is a Hall constant and has the description in inverse proportion to the carrier consistency of the matter used as a sensor. On the other hand, when an ingredient with a hall effect is the magnetic substance, output (Hall resistance)  $\rho_H$  sets magnetization of B and the magnetic substance to M, and an external magnetic field (flux density) is expressed as  $\rho_H = R_H B + R_{SM}$ . This  $R_s$  is an abnormality Hall constant. Moreover, this  $\rho_H$  has a component proportional to Magnetization M. Furthermore,  $R_s(es)$  are temperature and the value in which the fluctuation of magnetization participated. Therefore, since  $\rho_H$  is proportional to the magnetization M of the magnetic substance in the magnetic substance which the field dependency of the magnetization in a low field becomes from large soft magnetic characteristics, change of the abnormality Hall resistance in a low field, i.e., the value of  $R_s$ , is large. Therefore, in this invention aiming at offer of the sensor film which carries out sensing of the low field, a value with an output higher to use an abnormality hall effect peculiar to the magnetic substance for the ingredient of the sensor film



using the ingredient containing a magnetic material may be acquired.

[0010] The electrode was conventionally prepared in four in a film surface, about the relation of the direction of a current, the direction of a field, and the output voltage direction, in the film surface, the field was impressed for the current in the direction of thickness with the sink, and the electrical potential difference generated in the direction of a current of a film surface and the direction which intersects perpendicularly had been obtained as an output at this time. In order that electrode layer thickness may be overlapped in addition to the component surfacing height in the usual magnetic head in order to have to take the structure where an electrode is in a medium side rather than the sensor film of a medium opposed face when application in structure like the magnetic head is considered by the usual film, and a film surface is made parallel in a medium side, and the distance (effective surfacing height) of the sensor film and a medium side may open, the field which reaches the sensor film becomes weak. On the other hand, the structure which can sense the field from a medium by the minimum loss by taking the hall device structure which does not have an electrode in a medium confrontation side side was devised. This becomes possible by taking a current or an electrical potential difference in the direction of thickness.

[0011] It is the structure which a magnetic field tends to concentrate on a sensor part in the case of an abnormality Hall effect element at this time since only the sensor film is a magnetic film. However, in order to raise the effectiveness of field concentration, the effectiveness of an output over a field can be improved by applying the York structure and flux guide mold structure which make a perimeter magnetic-circuit structure and use a part as the sensor film.

[0012] As an ingredient in which such an abnormality hall effect is shown, the ferromagnetic metal by 3d electron like iron, cobalt, and nickel before, the alloy, etc. were considered. For example, since the abnormality hall effect by the ingredient which carried out impurity addition often tends to increase in proportion [ almost ] to high impurity concentration or electric resistance (there are a component in direct proportion and a component which carries out the example of a duplicate ratio), the metallic material which carried out impurity addition is also considered again. Moreover, there is an inclination to be from the latest research in the critical state that it is a ferromagnetic although the energy accompanying electron correlation tends to govern the physical property of a system and tends to become antiferromagnetism in a certain presentation neighborhood with some [

such as LaStMnO and LaCaMnO, ] ingredients with the presentation of the border area of the antiferromagnetic substance and a ferromagnetic, and for rocking (fluctuation) of each spin to become large, and big abnormality Hall resistance may be seen at this time. Moreover, in the magnetic semiconductor which consists of ingredients which combined the magnetic substance and a semi-conductor, it has turned out that the big moment and a big abnormality hall effect are seen. A room temperature shows the ferromagnetic-like behavior to the magnetic semiconductor which has the crystal structure of a zinc blende type especially and which doped transition metals to the thin magnetic semiconductor which doped the magnetic substance, such as Mn, to the group III-V semiconductor, ZnO, or GaN, and a magnetic semiconductor with other zinc blende crystal structures, and the high abnormality hall effect ingredient with which the abnormality Hall constant in a room temperature becomes more than  $1 \times 10^{-11}$  Vcm/AG (bolt cm / ampere gauss) exists. Therefore, it is possible to make the magnetic device adapting a field sensor or this with a desired output from using these ingredients for a sensor part.

[0013] The field sensor and the magnetic head by this invention have the following descriptions.

- (1) The field sensor characterized by having the 1st electrode layer, the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively.
- (2) It is the field sensor characterized by being the ferromagnetic film or antiferromagnetism film containing at least one kind of element with which said magnetic film was chosen from iron, cobalt, nickel, and manganese in the field sensor given in (1).
- [0014] (3) It is the field sensor characterize by be the ferromagnetic film or antiferromagnetism film which consists of a compound with a semiconductor material with the zinc blende structure containing at least one chose from at least one kind of element with which said magnetic film was chose from iron, cobalt, nickel, manganese, vanadium, and chromium in the field sensor given in (1), a gallium and arsenic, an indium, antimony, silicon, germanium a tellurium, a zinc oxide, and titanium oxide.
- (4) It is the field sensor characterized by being at least one kind of element with which said magnetic film was chosen from iron, cobalt, nickel, manganese, vanadium, and chromium in the field sensor given in

(1), a gallium and arsenic, an indium, antimony, silicon, germanium, a tellurium, a zinc oxide, the ferromagnetic film that produced the semiconductor material containing at least one of the titanium oxide by carrying out a laminating, or the antiferromagnetism film.

[0015] (5) It is the field sensor characterized by being the ferromagnetic film or the antiferromagnetism film with the perovskite structure containing three or more kinds of elements with which said magnetic film was chosen from a lanthanum, strontium, calcium, manganese, boron, copper, and oxygen in the field sensor given in (1).

(6) The 1st electrode layer and the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The field sensor characterized by detecting the electrical potential difference which generates a current between a sink, said 3rd electrode, and the 4th electrode between said 1st electrode and 2nd electrode.

[0016] (7) The 1st electrode layer and the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The field sensor characterized by detecting the electrical potential difference which generates a current between a sink, said 1st electrode, and the 2nd electrode between said 3rd electrode and 4th electrode.

(8) The 1st electrode layer and the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The component which detects the electrical potential difference which generates a current between a sink, said 3rd electrode, and the 4th electrode between said 1st electrode and 2nd electrode. Two or more implications, The field sensor characterized by connecting to a serial the electrode which detects the electrical potential difference of each component, and connecting each electrode so that the current of at least one component may flow to other components and hard flow.

[0017] (9) The 1st electrode layer and the magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 1st electrode layer is shown, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the

direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The component which detects the electrical potential difference which generates a current between a sink, said 1st electrode, and the 2nd electrode between said 3rd electrode and 4th electrode. Two or more implications, The field sensor characterized by connecting to a serial the electrode which detects the electrical potential difference of each component, and connecting each electrode so that the current of at least one component may flow to other components and hard flow.

(10) The magnetic head characterized by using the field sensor of claim 1-7 given in any 1 term as said field sensor in the magnetic head containing the field sensor arranged between magnetic shielding of a pair which consists of lower magnetic shielding and up magnetic shielding, and magnetic shielding of said pair.

[0018] (11) In the magnetic head containing the field sensor arranged between magnetic shielding of a pair which consists of lower magnetic shielding and up magnetic shielding, and magnetic shielding of said pair. The 1st magnetic film which said field sensor shows the abnormality hall effect by which it was formed on the 1st electrode layer and said 1st electrode layer, The 2nd electrode layer formed on said 1st magnetic film, and the 2nd magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 2nd electrode layer is shown, the 3rd electrode layer formed on said 2nd magnetic film -- having -- said the 1st magnetic film and 2nd magnetic film -- a medium opposed face -- abbreviation -- the magnetic head characterized by detecting the electrical potential difference which generates the current of the same direction of an parallel direction between a sink, said 1st electrode layer, and the 3rd electrode layer.

(12) In the magnetic head containing the field sensor arranged between magnetic shielding of a pair which consists of lower magnetic shielding and up magnetic shielding, and magnetic shielding of said pair. The 1st magnetic film which said field sensor shows the abnormality hall effect by which it was formed on the 1st electrode layer and said 1st electrode layer, The 2nd electrode layer formed on said 1st magnetic film, and the 2nd magnetic film in which the abnormality hall effect formed on said 2nd electrode layer is shown, The magnetic head characterized by compounding and detecting the reverse electrical potential difference of an parallel direction to the medium opposed face which is equipped with the 3rd electrode layer formed on said 2nd magnetic film, impresses a current between said 1st electrode layer and 3rd electrode layer, and is generated in said the 1st magnetic film and 2nd magnetic film.

[0019] (13) Magnetic shielding of a pair which consists of lower

magnetic shielding and up magnetic shielding, In the magnetic head containing the magnetic York film which draws an elongation field in the component height direction inside from the location which it has been arranged between magnetic shielding of said pair, and was exposed to the medium opposed face, and a field sensor The magnetic film which said magnetic sensor shows the abnormality hall effect by which it was formed on the 1st electrode layer and said 1st electrode layer, It has the 2nd electrode layer formed on said magnetic film, and the 3rd and 4th electrodes connected to two fields mutually estranged in the direction of a film surface of said magnetic film, respectively. The magnetic head characterized by being arranged in the location which retreated from the medium opposed face of said magnetic York film at the cutting section of said magnetic York film.

It is the magnetic head to which lay length with said field sensor parallel to a medium side is characterized by the \*\*\*\*\* from lay length perpendicular to a medium side in the magnetic head (14), (11), (12), or given in (13).

[0020] (15) The field sensor film which records information, and the bit line linked to the field sensor film, The word line which is in the location distant from the field sensor film, and counters with a bit line on both sides of the field sensor film, and intersects perpendicularly with a bit line, and performs record actuation to the field sensor film, In the magnetic storage component in which the cel equipped with the multiplier system which amplifies a record signal, and the read-out word line which switches read-out writing has the structure arranged in parallel [ two or more ] The magnetic storage component characterized by being the field sensor of aforementioned (1) - (9) given in any 1 term by which a field sensor contains the ferromagnetic which shows an abnormality hall effect.

[0021] As for the above-mentioned field sensor and the magnetic head, it is desirable to arrange the magnetic-domain control film for controlling a Barkhausen noise which becomes both the sides of the magnetic film in which an abnormality hall effect is shown from a permanent magnet ingredient. The magnetic head of this invention is incorporable into the magnetic recorder and reproducing device which performs record playback to a magnetic disk.

[0022]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained with reference to a drawing.

[Gestalt 1 of operation] drawing 2 is the mimetic diagram showing the conventional thin film hall device and the gestalt of the thin film

field sensor which used the hall effect. When a current is impressed to the one direction 201 in a film surface and a field is added in the direction 202 of thickness, this applies the phenomenon which electromotive force produces in the 203 directions which intersect perpendicularly with the both directions of 201,202, and constitutes the field sensor by which the magnetic field strength impressed to the film surface is measured as electromotive force. In the field range where the relation of the field-voltage characteristic is large, nonmagnetic semiconductors which are proportionality, such as GaAs, InAs, and InSb, are reported, and the ingredient which constitutes such a component is put in practical use widely.

[0023] On the other hand, the field sensor by this invention has a configuration as shown in drawing 3. The field sensor of this example has the structure which sandwiched the sensor film (film containing the ferromagnetic in which an abnormality hall effect is shown) 305 with the electrode 304,306 of two sheets, and where a current is passed in the direction 302 of thickness, when a field is impressed to the field inboard 303, it senses the output voltage generated in the film surface inboard 301. The ingredient which constitutes the sensor film is the film constituted with the film containing a magnetic film including a ferromagnetic or antiferromagnetism, and the detail of a component is mentioned later.

[0024] Moreover, drawing 4 is drawing showing another example of a configuration of the field sensor by this invention. Although the field sensor of this example has the structure which sandwiched the sensor film (film containing the ferromagnetic which carries out abnormality hall effect generating) 405 with the electrode 404,406 of two sheets, it senses the electrical potential difference which generates a current in the direction of thickness of 402 to the field included in the field inboard 403 which intersects perpendicularly with this with a sink in the membranous field inboard 401. The film which contains a magnetic film including a ferromagnetic or antiferromagnetism as sensor film is used. The field sensor shown in drawing 3 and the field sensor shown in drawing 4 are the configurations into which a field invades from a film cross-section part.

[0025] The example of component structure by the side of the field which counters the medium side of the field sensor explained to drawing 5 by drawing 3 is shown. Moreover, the example of structure which looked at the component from right above [ of a medium side ] to drawing 6 is shown. If drawing 5 is referred to, an electrode layer 502 will be formed by the sputtering method for example, in Ar ambient atmosphere on

a base 501, and the sensor film 503 will be formed further. The ingredients used as a base are semi-conductor single crystals (GaAs, Si, a dope semi-conductor (InGaAs), InP, etc.), single crystals (MgO, sapphire, etc.), glass, a silicon oxide, a ceramic, etc. When bases 501 were glass, an oxide, and a ceramic, the insulator layer was formed on the base, flattening of this was carried out by the approach of carrying out chemical machinery polish (CMP), and the thing in which the shielding film which consists of the magnetic substance was formed on this was used as the base. By performing processing which carries out flattening of the film surface by irradiating cluster-like ion in a substrate side as an approach for furthermore carrying out flattening of this, the surface smoothness of a film surface can be decreased to about 0.1nm of field granularity, and its substrate using this was also effective as a result of component production. The single crystal substrate formed and used clarification and a flat front face by performing above-mentioned surface treatment or heat-treatment which carries out the temperature up of the substrate temperature to 600 degrees C from 300 degrees C in a vacuum. The production approach of the sensor film can adopt for example, the sputtering method, the ion beam sputtering method, MBE and CVD, or the galvanizing method. The detail over an ingredient is mentioned later. Moreover, with the ingredient, from the room temperature, the suitable temperature of the range of several 100 degrees C was set up suitably, and was used for the substrate temperature at this time. For example, Fe-N, MnGaAs, etc. are 250 degrees C in substrate temperature, and CrAs was produced at the temperature of 200 degrees C.

[0026] The resist was exfoliated, after carrying out patterning of this sensor film to predetermined magnitude and a configuration with the resist mask and giving removal means, such as ion milling, to other parts. For example, after forming a lift-off pattern on this sensor film, the film which becomes the circumference part of that film from the 505/insulator layer 506 of 504/electrode layers of insulator layers is formed similarly. aluminum 203 or SiO<sub>2</sub> was used for this insulator layer. Furthermore, the electrode layer 507 was formed on this. The electrode layer 505 should just be insulated to the electrode layer 502, 507 of the sensor film upper and lower sides, whether it is in contact in the cross-section part of the sensor film even if it consists of Au and is in contact on the film surface of the sensor film 503, or it is in contact by the both. An approach to pull out these four electrodes is a gestalt as shown in drawing 6. Cu, Ru, Cr, Ta/Au/Ta, aluminum, etc. can be used for an electrode material other than Au. From an electrode

502,507, this field sensor senses as an output the electrical potential difference generated between electrodes 505,505, when a magnetic signal enters a current in the direction of thickness in a sink and the 508 directions.

[0027] It is constituted by the sensor structure shown in drawing 4 using the thing almost same also as an ingredient, using an above-mentioned form as a component configuration. In this case, it is the structure which senses as an output the electrical potential difference generated between an electrode 502 and an electrode 507 when a magnetic signal enters a current in a sink and the 508 directions in a film surface from an electrode 505,505.

[0028] The relation with the output voltage to the component structure and the incidence current of a gestalt of this operation For example, if the configuration on the base of a component is

2.0micrometerx0.5micrometer, and Current I is passed in the direction of thickness with the structure of drawing 3 when Thickness dy is 0.2 micrometers The area of output voltage  $\Delta V_h$  (V) of the part into which the current of a component flows is as follows when RS uses the ingredient of 10-10 Vcm/AG (bolt cm / ampere gauss) as an ingredient of  $S = (2.0\text{micrometer} \times 0.5\text{micrometer})$  and the sensor film.

[0029]  $\Delta V_h = RS - dy - I - M$  (H) A current required in order to obtain this is  $I = \Delta V_h - S / RS - dy - M$  (H) at the time of /S, i.e., a certain output  $\Delta V_h$ .

However, if a field is assumed to be value 10000G of flux density [ of the location which surfaced about 10nm from the medium Records Department ] M (H), it will serve as  $I = \Delta V_h - S$  and  $10^{-4} / RS - dy$ .  $\Delta V_h$  is set to 2mV or less, when it assumes that only 1mA of current values cannot be passed at the maximum and 1 micrometer of component area is 2. This value is a measurable value. Therefore, if Rs is 10-10 Vcm/AG, it will become a value measurable as an output. Since the component is able to make a figure single [ about ] small with the present technique using EB RISOGURAFU etc., if Rs is 10 to 11 or more Vcm/AG, it is an appropriate value when obtaining a component output.

[0030] Furthermore, the approach of enlarging this output voltage  $\Delta V_h$  is enlarging application of (3) high magnetization ingredient which makes (1) current value high or makes (2) component sizes (S) small, and ingredient retrieval of high RS or the (4) (5) thickness dy, and can produce the component of a value large double or more figures. The output in these components becomes the value about calculated by the formula shown above using each Rs and Ms, when component structure is the same, and an ingredient is changed.



[0031] On the other hand, when an output terminal is taken in the direction of thickness in a field, the area of the part into which the current of a component flows is set to  $0.5\text{micrometer} \times 0.2\text{micrometer}$ , and the thickness  $d_y$  of output voltage  $\Delta V_h$  (V) is as follows in the component structure shown in drawing 4, i.e., a current, when  $0.2\text{micrometers}$  and  $RS$  are  $10\text{--}10\text{ Vcm/AG}$ .  $\Delta V_h = RS$ ,  $2.0\text{ (micrometer)}$ , and  $I - M(H)/S = 5 \times 10^{-4}$  and  $I$  [0032] Although  $\Delta V_h$  will become small if a simple comparison is carried out with the case of the component structure of drawing 3, it is also possible to calculate the thickness of a component as  $50\text{nm}$ , in this case,  $\Delta V_h$  is  $8 \times I$  (V) and a current required in order to obtain the output of  $1\text{V}$  is  $125\text{mA}$ . Furthermore, in  $10\text{--}9\text{ Vcm/AG}$ , single figure  $RS$  becomes small with  $12.5\text{mA}$ , and serves as a value appropriate as an output value over a current. Therefore,  $\Delta V_h$  has the time when  $RS$  is sufficiently large, or more thin sensor thickness, and since the effectiveness of taking a large value arises when width of face is narrow, the output to a unit current may improve by these approaches. Therefore, the configuration of the sensor film has an advantageous configuration to which current pass becomes as long as possible as making it as thin as possible and a configuration from a film top face. If  $RS$  is  $10$  to  $10$  or more  $\text{Vcm/AG}$  in size which was mentioned above, specifically, it will be thought that it becomes conditions required as a sensor.

[0033] A field required for the rotation of magnetization within a field can be adjusted [ a membranous crystal magnetic anisotropy and ] in a configuration. By the soft magnetism film, the effectiveness by the configuration can have a spheroid model, it can be in it, and it can estimate it in approximation. It is possible to build a stabilized point with making it especially a configuration long to the difficult shaft orientations of a crystal magnetic anisotropy to difficult shaft orientations. As a configuration, if  $1:2$  or more a long side / shorter side ratios are taken, these will change notably. With a component with  $1:3$  or more a long side / shorter side ratios, it can be said from the above-mentioned anisotropy and output count that the film with easy output and adjustment of magnetization is produced.

[0034] As an ingredient which constitutes the sensor film, for example (1)  $\text{Fe}_6\text{N}_2$ , (2)  $\text{MnAs-GaMnAs}$ , (3)  $\text{CdMnTe}$ , (4)  $\text{InMnAs}$ , (5)  $\text{ZnO}^+$  (any one or more of  $\text{Mn}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Co}$ , nickel, and the  $\text{Ti}$ ), (6) Strong correlation electronic system ingredients, such as  $\text{ZnCoO}$ , (7)  $\text{CrAs}$ , (8)  $\text{LCMO}$ , and  $\text{LSMO}$ , or the antiferromagnetic substance film containing  $\text{Mn}$ , and the film that consists of the magnetic substance with granular structure can be used.

[0035] The film of (1) is produced as follows. It is produced by vapor-depositing Fe at the rate of 0.01-0.02A per second in the nitrogen gas which contains ammonia 20% in ultra-high-vacuum vacuum evaporation equipment (MBE) on the In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As (001) single crystal substrate which carried out the temperature up to 200 degrees C. The substrate was immersed in the liquid which consists of H<sub>2</sub>O:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 1:1:3 about 10 seconds, and was heated at 640 degrees C whenever [ substrate electrode-holder flesh-side surface temperature ] in the vacuum after rinsing, and it checked that a front face was clarification Men by RHEED. The saturation magnetization in a room temperature was [ 3.0 teslas and the electric resistance of this ingredient ] 32microhm/cm. Furthermore, when the hall effect was measured by the method of foundation APAU, RA increased according to the temperature rise and became the abnormality Hall constant of abbreviation  $2 \times 10^{-11}$  Vcm/AG at the room temperature. This is 3 to 4 times the pure Fe. The compound to which the ferromagnetic metal of 3d metal system, nitrogen, carbon, and oxygen were made to react can be formed using the same reactant vacuum deposition. For example, the Fe-N martensite (N:5-11 atomic %) which consists of iron and nitrogen also serves as abbreviation  $1.0 \times 10^{-11}$  Vcm/AG.

[0036] the film of (2) to (3) -- MBE -- it is formed on a GaAs (001) side in an ultra-high vacuum using law. When it grows up directly on a substrate, an easy axis is in a film surface, but the compound film (about 200nm of the maximum thickness) which doped Mn about 5% to GaAs about (2) can be used as the film which has an easy shaft perpendicularly if the buffer layer containing InGaAs etc. is inserted. This film serves as a value in figures about double [ 1 to ] with abnormality Hall resistance smaller  $6 \times 10^{-6}$  Vcm/AG (40K) and 150K than this only at 100K or less low temperature in the present condition. Moreover, CdMnTe to which (3) doped about 2% of Mn to CdTe shows the property of a magnetic semiconductor at low temperature.

[0037] The film from (4) to (7) can be produced by the ion beam method or the MBE method. However, in order to form the zinc blende type structure which is the characteristic crystal structure of these systems, the membrane formation which used the MBE method is good. InMnAs of (4) is what doped Mn to InAs, and is produced on a GaAs substrate and an InAs substrate in a vacuum by the sputtering method with a substrate temperature of 500 degrees C - 700 degrees C and the ion beam method. Although p mold and n mold are taken with the impurity of a semiconductor, the thing of p mold serves as ferromagnetism at low temperature, and has an abnormality hall effect. RS is the range of 10-

10 Vcm/AG. (5) dopes transition metals to ZnO called semi-conductor of a wide gap mold. By theoretical count by the first principle, when Mn is doped, antiferromagnetism and ferromagnetism are shown, and if V, Cr, Fe, Co, and nickel are doped, becoming a paramagnetism is reported by it. What dopes Mn to GaN is supposed that ferromagnetism may be shown. As an example remarkable [ among these ], also at a room temperature, (6) ZnCoO shows ferromagnetism and has an abnormality Hall constant. CrAs of (7) grows epitaxially on GaAs (100) and is a ferromagnetic at a room temperature. In addition, about that in which MnSb also formed granular structure with a diameter of about 100nm in the state of the thin film, it is checked at the room temperature that ferromagnetism is shown, and the thing of the range of this invention is obtained also for an abnormality Hall constant. (8) can take ferromagnetism, antiferromagnetism, and superconduction with a presentation and temperature. Near the presentation which discovers especially the antiferromagnetic substance and a ferromagnetic, fluctuation of spin is large and the field (for example,  $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ ,  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ ) where an abnormality hall effect becomes large exists. Furthermore, a property with the same said of what made the thin film of GaAs and MnGaAs the multilayer, for example for the film of (3) is shown. [0038] Since Hall constant RS of an abnormality hall effect has the cube dependency [ magnetization ] of fluctuation according to the Kondo theory, if especially the fluctuation of spin will be in the condition of becoming large, the abnormality Hall constant itself will become large. The electronic Coulomb interaction is large specifically, or, in [ almost all ] the above-mentioned case, is in the (strong correlation electronic state) and the condition that the interaction between spin can be weakening compulsorily, and it is thought that the abnormality Hall constant is enlarged. It is expected that the scaling law about an electron number stops realizing, and fluctuation of spin becomes large about this ingredient when it is made detailed, thin-film-izing and. In order to actually enlarge spin fluctuation similarly, it is checking that the abnormality hall effect when making it an elevated temperature becomes large as shown in drawing 7 . As shown in drawing 7 , an abnormality Hall constant will go up in RT (room temperature) in many cases, if temperature becomes high. Especially (1), (5), (6), and (7) show this pattern among the above-mentioned ingredients. Since the other ingredient has the peak of drawing 7 in temperature lower than a room temperature, it becomes what has a large anomalous Hall coefficient value in low temperature.

[0039] The output terminal of the component of two or more isomorphism

with [gestalt 2 of operation] drawing 3 or the structure of drawing 4 and the same size was allotted to the serial, and the component the polarity of at least one current installation terminal was made to flow to others and hard flow was produced.

[0040] this structure which drawing 8 shows this example and has the structure of drawing 3, the same size, and the field sensor of isomorphism -- two pieces -- arranging -- the output terminal (301) within a field -- a serial -- arranging -- a current terminal (302) -- each of thickness -- it is the principle Fig. of the sensor arranged so that a current 802 may pass by the reverse sense in a serial. The ingredient of the sensor film is the same as that of what was described in the gestalt 1 of operation. Moreover, since it can form easily when it will only connect with the reverse sense and the end of a current terminal will form on the same substrate, if it sees as structure of a component, explanation of a production process with a detailed component is omitted.

[0041] The field sensor with this structure is considered that a function changes with those situations installed. If it puts on the location which has the field which wants to measure one component by the case where the field which carries out the turbulence of the field to measure for example exists in the external world and the field which wants to measure the component of another side puts on the location where the field which carries out turbulence exists, it will become the field sensor which can detect only the field which wants to offset and measure the abnormality Hall-voltage output component by the field which carries out turbulence. That is, the component put on the location with a field to measure detects the field 803 which the turbulence field superimposed on the field to measure. On the other hand, the component put on the location where the field which carries out the turbulence of the field to measure exists detects the turbulence field 804. Consequently, the output voltage 801 of a field sensor will direct the reinforcement of the field which deducted the turbulence field 804 from the field 803 to measure.

[0042] When an example of the usage of this field sensor is explained, it is the usage which arranges one sensor film in the sensor section of the magnetic head, and arranges another sensor in the location distant from the sensor part. This field sensor is effective to deduct the effect of the place outside average depended on record parts other than earth magnetism or a magnetic-recording part to reproduce, and measure a field.

[0043] Other examples of structure of the field sensor which used two

sensor film, isomorphism and the same size, for drawing 9 are shown. The field sensor shown in drawing 9 has the structure which pinched further the sensor film 903,903 of two sheets which carried out the laminating on both sides of the electrode layer in between by the electrode layer 904,904 of a pair. A current 901 is impressed in the direction of a film surface of the sensor film 903,903 containing the ferromagnetic which generates an abnormality hall effect of two sheets, and the abnormality Hall voltage 902 generated in the direction of thickness by the interaction with an external magnetic field is detected in serial.

[0044] If the sensor film 903,903 of two sheets is arranged by width of face smaller than the recording track width of face of a magnetic disk and this field sensor is used as the reproducing head of a magnetic disk, an output signal can be acquired in differential.

[0045] The case where a current is passed is described in the same direction as the sensor film 903,903 below. When this field sensor is applied to the reproducing head of a magnetic disk, when the thickness of a component is smaller than the width of face of a record part, The output (Hall voltage) at the time of reproducing the vertical-magnetic-recording medium 905 which has the record magnetization 907 at right angles to a medium side shows a location dependency as shown in output wave 908a. When the Men inner magnet mind record medium 906 which has record magnetization in a medium side is reproduced, a location dependency as shown in output wave 908b is shown. If the direction of a current 901 is taken conversely, the output to the vertical-magnetic-recording medium 905 will serve as a location dependency shown in wave 908b, and the output to the field inner magnet mind record medium 906 will serve as a location dependency shown in wave 908a. Thus, the field sensor of this operation gestalt can be used as the reproducing head also to a vertical recording medium also to the record medium within a field.

[0046] The example at the time of applying the field sensor of [gestalt 3 of operation] this invention to the magnetic head is explained. The film containing the magnetic substance which generates the abnormality hall effect used for a field sensor has the structure which had membrane structure as shown in drawing 6 , for example, was shown with the gestalt 1 of operation. For head application and a practical output, thickness was taken as 100nm suitable thickness from 1nm of thickness. In the case of this example, the film of 15nm of thickness was used.

[0047] The magnetic-head structure using these field sensors Even if the structure where the sensor called an in gap type was inserted between shielding is the head structure of the configuration exposed to the

medium opposed face Also with the head structure which has arranged the sensor in the inner part of York which the sensor called the York structure is not exposed, for example, consists of a soft magnetic material of C character type configuration of the alphabet (1) It is divided roughly into what used the electrode also [ shielding ], and the thing which separated (2) electrodes and shielding, and structure with (A) magnetic-domain control and structure without (B) magnetic-domain control can be further considered about each.

[0048] The mimetic diagram of the medium opposed face of the component of an in gap configuration which both [ shielding / drawing 10 ] used the above-mentioned (1) electrode is shown. After applying and forming a lift-off ingredient in the location (for example, on the electrode layer [ lower shielding-cum-] side 1001) which serves as a magnetic force sensor after film formation, these sensor film (film containing the ferromagnetic which carries out abnormality hall effect generating) 1005 is etched by approaches, such as the ion milling method. Film formation of the 1006/insulator layer 1007 of 1002/electrode layers of insulator layers is carried out after etching, and a lift-off mask is removed.

[0049] In addition, if the magnetic-domain control film 1003 which becomes by CoCrPt, CoCrPtZrO<sub>2</sub>, etc. is attached to between an insulator layer 1002 and an electrode layer 1006, the bottom of an insulator layer 1004, or a top, since the noise by the magnetic-domain behavior of the sensor film can be prevented more, the field accuracy of measurement can be raised. When the magnetic-domain control film 1003 was formed on suitable substrates, such as Cr and Ta, here, there was a case of being effective, about the property of the magnetic-domain control film. Then, the pattern of the component height direction of the magnetic-domain control film and the sensor section is formed, a surrounding part is removed by ion milling, 100nm of mixed film of aluminum<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> is formed as a protection insulator layer 1007 on this, and the up shielding film-cum-the electrode layer 1008 is formed.

[0050] The mimetic diagram of the medium opposed face of the component of an in gap configuration which divided the electrode and shielding of the above (2) into drawing 11 is shown. A perimeter is dug deep by the lift-off pattern after forming the lower shielding 1101 in this case. Form the magnetic-domain control film 1103 there, turned flattening up by CMP, form the gap insulator layer 1104, form an electrode layer 1105 and the sensor film 1106, and a component configuration is processed. Form an insulator layer 1107 in a perimeter and a lift-off pattern is formed in a component part. Besides the electrode layer 1108 from width and an insulator layer 1109 are formed, and after exfoliating a lift-off

pattern, it is producible with the procedure of up electrode 1111 and insulator layer 1109 (up gap film 1110) up shielding 1112 formation. 1102 is an insulator layer.

[0051] Drawing 12 is the pictorial drawing which expressed the magnetic-domain control film as the typical York structure typically. The arrow head of 1208 shows each direction of a component, in 1209, the truck cross direction and 1210 show the direction of thickness, and 1211 shows the component height direction.

[0052] The structure of illustration has taken the structure which the magnetic sensor film 1205 does not expose to the field which countered the medium. Here, the structure where the York film which becomes the gap inserted into the lower magnetic shielding 1203 which consists of nickel81Fe19 shown in drawing, and the up magnetic shielding 1207 from the same soft magnetic materials was inserted was produced. The York film is the ring-C configuration which up York 1206 and lower York 1202 joined in drawing 12. In addition, there are a format which extracted lower York at the tip, a format used as the thick film, and structure where York is discontinuity under the field sensor. 1201 is shown as magnetic-domain control film among drawing. At least, magnetic-domain control is carried out by this, and lower York 1202 and the magnetic sensor film 1205 do not have surrounding splitting by it. The good magnetic-domain control in which either the format which carries out magnetic-domain control of the vertical York film and the magnetic sensor film at coincidence or structure which carries out magnetic-domain control of each does not have splitting as structure of this magnetic-domain control film 1201 is possible.

[0053] Although the location of the magnetic-domain control film of the York structure was shown in drawing 12 simple, it is produced in fact by drawing 10 or structure like drawing 11. Moreover, since the amount of the magnetic flux sensed by the magnetic sensor film is increased as shown in drawing 13 or drawing 14, it is possible to form the magnetic-domain control film by using the ingredient of the magnetic-domain control film as the high resistance film also with the structure which made discontinuity the part which touches the sensor film of York. Since the permeability of the sensor film becomes about 1000 times compared with the case where a semi-conductor is used as sensor film, these field sensors can utilize the field from a medium efficiently.

[0054] With this structure, if the vertical magnetic recording of the field to sense is carried out, it can make the structure which senses the magnetic leakage flux of a record edge from being the component impressed to the field inboard of the sensor film at the leakage field

of record, and the thing recorded in the field.

[0055] With the gestalt of this operation, degradation of reproducing characteristics according [ playback shielding spacing (distance between gaps) ] to the flow of the magnetic-reluctance change film and the magnetic-domain control film in at least 80nm or less was not accepted using the magnetic sensor film of the above-mentioned publication.

[0056] [Gestalt 4 of operation] drawing 15 is the mimetic diagram showing an example of the magnetic disk unit using the magnetic head by this invention. The magnetic disk 1501 as a magnetic-recording medium formed in the shape of [ for this magnetic disk unit to record data on the record section called a concentric circular track ] a disk, The magnetic head 1506 by this invention for consisting of a magnetic transducer and carrying out reading of the above-mentioned data and writing, It has the control means 1505 which controls migration of the actuator means 1511 which supports the magnetic head 1506 and is moved to the predetermined location on a magnetic disk 1501, and a transmission and reception of the data which the magnetic head reads and are written in and an actuator means etc. The pivotable magnetic disk 1501 of at least one sheet is supported with a revolving shaft 1502, and is rotated by the motor 1503 for a drive. At least, the slider 1509 of a piece is installed on a magnetic disk 1501, and the slider 1509 is supporting the field sensor 1510 by this invention.

[0057] When a slider 1509 moves in a disk front face, it is accessed in the predetermined location where the target data are recorded, at the same time a magnetic disk 1501 rotates. A slider 1509 is attached by the gimbal 1507 for an arm 1508. A gimbal 1507 has slight resiliency and sticks a slider 1509 to a magnetic disk 1501. An arm 1508 is attached in an actuator 1511.

[0058] A voice coil motor (henceforth VCM) is used as an actuator 1511. VCM consists of a movable coil placed into the fixed field, and the migration direction, passing speed, etc. of a coil are controlled by the electrical signal given through Rhine 1504 from a control means 1505. Therefore, the actuator means by this example is constituted including a slider 1509, a gimbal 1507, an arm 1508, an actuator 1511, and Rhine 1504.

[0059] By working [ of a magnetic disk ], and rotation of a magnetic disk 1501, between a slider 1509 and a disk front face, the air bearing by airstream arises and it surfaces a slider 1509 from the front face of a magnetic disk 1501. Therefore, working [ of a magnetic disk unit ] and this air bearing maintain the slight elastic force and the balance of a gimbal 1507, and a slider 1509 is maintained so that a magnetic disk



1501 and fixed spacing may be maintained and it may rise to surface, without touching a magnetic-disk front face.

[0060] Usually, a control means 1505 consists of a logical circuit, memory, a microprocessor, etc. And transmitting and receiving [ and ] a control signal, a control means 1505 controls the various configuration means of a magnetic disk unit through each Rhine. For example, a motor 1503 is controlled by the motorised signal transmitted through Rhine 1504. An actuator 1511 is controlled to move and position the slider 1509 chosen to the data track made into the purpose on the related magnetic disk 1501 the optimal with a head position control signal, a seeking control signal, etc. through Rhine 1504.

[0061] And data playback / decode system 1512 receives and decodes the electrical signal from which the magnetic head 1506 read and changed the data of a magnetic disk 1501 through Rhine 1504. Moreover, the electrical signal for writing in a magnetic disk 1501 as data is transmitted to the magnetic head 1506 through Rhine 1504. That is, data playback / decode system 1512 is controlling transmission and reception of the information which the magnetic head 1506 reads or writes in. Moreover, there are for example, an access-control signal, a clock signal, etc. as a control signal. Furthermore, a magnetic disk unit may have two or more magnetic disks, actuators, etc., and an actuator may have two or more magnetic heads. By having such two or more devices, it is possible to form the so-called disk array equipment.

[0062] [Gestalt 5 of operation] drawing 16 is the mimetic diagram showing an example of the magnetic storage component of MRAM structure which used the field sensor of this invention. The field sensor 1606 by which the illustrated MRAM structure records information, the line 1609 which connects with a field sensor and passes a current for a component, and the sensor film — connecting — this — the current from 1609 — receiving — abbreviation — it having a terminal in the parallel direction and with the bit line 1607 which tells an output voltage signal The word line 1605 which is in a bit line 1607 and the location distant from the sensor film 1606 of the location which countered on both sides of the sensor film 1606, and intersects perpendicularly with a bit line, and performs record actuation on the sensor film, It reads with the multiplier systems 1601, 1602, 1603, 1604, and 1610 which amplify a record signal, and the cel equipped with the read-out word line 1611 which switches writing has the structure arranged in parallel. [ two or more ] This magnetic storage component applies the field sensor containing the magnetic substance with an abnormality hall effect as shown in the gestalt 1 of implementation of invention as film which

constitutes the field sensor 1606.

[0063] First, in order to show the principle of operation of MRAM, an example at the time of using MR film for the sensor film is shown in drawing 17. As a drive wire required since the magnetization vector of the field sensor film is driven, wiring which consists of copper wire and which intersected perpendicularly mutually is prepared. This is called a word line 1705 and a bit line 1707, respectively. Generally, the line which intersects perpendicularly with a word line and a word line the line arranged at the easy axis of the field sensor film 1706 and parallel is defined as a bit line. At this time, the magnetization vector in the film takes the condition that the resistance of (1) and (0) differs in parallel with an easy axis. It has the structure where of the one direction and the direction of thickness of [ in the (A) film surface ] become an easy axis, the structure where of the relation between a current and the direction of a field in parallel and a rectangular cross becomes, or (B) sensor film consists of a magnetic film of two sheets like SV film of GMR, and the condition that these resistance differs is realized with the structure where of both magnetization direction can take an parallel condition and a rectangular condition at the usual MRAM. A field occurs around because a current flows, and a word line and a bit line generate the field which acts on the sensor film inserted into the word line and the bit line. When passing pulse current to a word line, information is taken out as a signal by making the time of the standup into timing. Moreover, it writes in by passing a bit line ignited by the time of falling of a pulse. The current of a word line is a current on which the operation field in the sensor film exceeds the anisotropy field of a thin film, and the current of a bit line is a current required in order to generate the field of extent exceeding one half of the coercive force of the magnetic sensor film.

[0064] Here, a field is impressed to all the sensor film that is under a sink and its line about a current required for a word line. At this time, the field of the sensor film will turn to the direction of a hard axis within a field. A polar pulse voltage different, respectively is guided to each bit line by whether at this time, the condition of magnetization rotated from the parallel (1) condition, or it rotated from the rectangular (0) condition. This serves as a read-out electrical potential difference. Moreover, it is in the condition in which falling and timing of pulse current of a word line were united, and a sink and magnetization turned [ bit line ] pulse current to the difficult shaft, and the sense of magnetization is determined by the field from a bit

line at the time of record, and it records the condition of (1) and (0).

[0065] As return and a semi-conductor substrate 1601 for CMOS, a GaAs substrate is used for drawing 16, the impurity which serves as p mold and n mold at a this top is doped, an electrode (gate film) 1610 is formed in the part further pinched to both the dope field, and a transistor (MOS transistor) is formed in it here. The drain side which forms this transistor was set to 1602, and the source side was set to 1603. Actuation of the pulse current which flows to a word line or a bit line is determined by switching of this transistor.

[0066] Since the abnormality hall device film by this invention is applied to this sensor film, an electrode is arranged so that a current may flow in a film surface, and it is in the location which 90 degrees of easy axes of the sensor film left in the field and magnetization can take the condition of parallel and a rectangular cross to a current here, MRAM-behavior is shown. However, since a magnetic anisotropy with a difficult shaft is adjusted, it may be required to make [ lengthen / in different direction ] a component configuration into difficult shaft orientations.

[0067] If it does so, since a current will flow to a film surface perpendicular direction or will flow to the one direction of a film surface, it can be used as same field sensor. Moreover, one side of the magnitude of a field sensor component is 0.2-0.25 micrometers. With the structure which used TMR by IBM for the sensor film, if the abnormality hall effect film is applied to this structure, a rate etc. is comparable, and although read-out time amount is created for 5mW (read-out) of power consumption, 40mW (writing), and write-in time amount and the sensor of 49F2 is created for cel area in about 10ns for 10ns, since the resistance of the sensor film can be reduced further, power consumption may be pressed down low. In order to change the resistance over a field and for S/N to fall if a magnetic domain occurs when rotating the magnetization direction of this sensor film, it becomes impossible to read storage. In order to perform this with a sufficient controllability, the magnetic-domain control film is needed. It is possible to carry out magnetic-domain control of this magnetic-domain control film without the splitting loss to the magnetic-domain control film by being located in the both ends of the field sensor of 1606.

[0068]

[Effect of the Invention] According to this invention, an abnormality hall effect can be used as a field sensor, the magnetic head, the sensor section of a storage element, and a magnetic recorder and reproducing device, and a high output can be expected even when component size is

small. It is effective, when a component becomes small as for the abnormality hall effect itself, and there is an inclination which carries out output increase and it corresponds to high density record. Moreover, the field sensor of this invention is not based on the recording method of a medium, but can be utilized as a head.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing in which having combined the general field dependency of the Hall voltage of a semi-conductor with the case of an abnormality hall effect, and having shown it.

[Drawing 2] The current of the thin film field sensor using the conventional hall effect, a field, structural drawing showing the relation of an output.

[Drawing 3] The current of the thin film field sensor using the abnormality hall effect by this invention, a field, structural drawing showing an example of the relation of an output.

[Drawing 4] Structural drawing showing the current of the thin film field sensor using the abnormality hall effect by this invention, a field, and other examples of the relation of an output.

[Drawing 5] The \*\*\*\*\* type which looked at an example of the field sensor by this invention from the medium opposed face side.

[Drawing 6] Drawing which saw an example of the field sensor by this invention from the film surface upper part.

[Drawing 7] Drawing showing the temperature dependence of an abnormality hall effect.

[Drawing 8] The current of other examples of the thin film field sensor using the abnormality hall effect by this invention, a field, structural drawing showing the relation of an output.

[Drawing 9] Structural drawing of other examples of the reproducing head by this invention, and drawing having shown the location dependency of the magnetic-recording condition of a medium, and Vh.

[Drawing 10] Structural drawing by the side of the medium opposed face which shows the example of structure of the magnetic head using the abnormality hall effect of the in gap mold by this invention (when an electrode and shielding are combination).

[Drawing 11] Structural drawing by the side of the medium opposed face

which shows the example of structure of the magnetic head using the abnormality hall effect of the in gap mold by this invention (when an electrode and shielding are another).

[Drawing 12] Drawing showing the example of the York structure.

[Drawing 13] Drawing showing an example of the physical relationship of York and a field sensor.

[Drawing 14] Drawing showing other examples of the physical relationship of York and a field sensor.

[Drawing 15] The structure of a magnetic recorder and reproducing device, and a mimetic diagram of operation.

[Drawing 16] The mimetic diagram of the structure of MRAM using the magnetic sensor by this invention.

[Drawing 17] The mimetic diagram of MRAM which used MR film for the sensor film.

[Description of Notations]

The abnormality hall effect in normal hall effect and 102:, 201 : 101:  
The current impression direction, 202: The magnetic field impression direction, the 203:Hall voltage, the 204:semi-conductor film, 301 : The abnormality Hall voltage, 302: The current impression direction, the 303:magnetic field impression direction, a 304:electrode, 305 : The sensor film, 306 : An electrode, the 401:current impression direction, the abnormality Hall voltage in 402:, the 403:magnetic field impression direction, 404 : An electrode, the 405:sensor film, a 406:electrode, a 501:base, 502 : An electrode, the 503:sensor film, a 504:insulator, a 505:electrode, 506 : An insulator, a 507:up electrode, the 508:field impression direction, the abnormality Hall voltage in 801:, 802: The current impression direction, the 803:field impression direction, 804 : The field impression direction, 901: The current impression direction, the abnormality Hall voltage in 902:, 903 : The sensor film (film containing the ferromagnetic which carries out abnormality hall effect generating), 904 : An electrode, a 905:magnetic-recording medium (vertical recording), a 906:magnetic-recording medium (record within a field), 907 : The direction of magnetization, 908a, the 908b:Hall voltage (output), 1001:lower shielding-cum-an electrode layer, 1002 : An insulator layer, the 1003:magnetic-domain control film, a 1004:insulator layer, the 1005:sensor film, 1006 : An electrode layer, a 1007:insulator layer, 1008:up shielding-cum-an electrode layer, 1101: Lower shielding, a 1102:insulator layer, 1103 : The magnetic-domain control film, 1104 : An insulator layer (gap film), a 1105:lower electrode layer, the 1106:sensor film (film containing the ferromagnetic which carries out abnormality hall effect generating), 1107 : An insulator, a

1108:electrode layer, a 1109:insulator layer, a 1110:insulator layer (up gap film), 1111 : An electrode layer, the 1112:up shielding film, the 1201:magnetic-domain control film, 1202: Lower MAG York, 1203:lower magnetic shielding, 1205 : The magnetic-reluctance sensor film, 1206: Up MAG York, 1207:up magnetic shielding, 1501 : A magnetic disk, 1502 : A revolving shaft, a 1503:motor, 1504:Rhine, a 1505:control means, 1506 : The magnetic head, a 1507:gimbal, a 1508:arm, a 1509:slider, 1510: A field sensor, a 1511:actuator, 1512 : A control means, 1601: The semiconductor substrate for CMOS, 1602 : The drain film, 1603 source film, 1604: The gate film, a 1605:word line, the 1606:field sensor (abnormality hall effect) film, a 1607:bit line, a 1608:current carrying part, a 1609:current impression line, the electrode for 1610:gate-control electrical-potential-difference impression, 1611: Read-out word line

---

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-69107

(P2003-69107A)

(43) 公開日 平成15年3月7日 (2003.3.7)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テークコード* (参考)
H 0 1 L 43/06		H 0 1 L 43/06	Z 2 G 0 1 7
			M 5 D 0 3 4
G 0 1 R 33/07		G 1 1 B 5/37	5 E 0 4 9
G 1 1 B 5/37		H 0 1 F 10/16	5 F 0 8 3
H 0 1 F 10/16		H 0 1 L 43/04	

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-254830(P2001-254830)

(22) 出願日 平成13年8月24日 (2001.8.24)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 ▲高▼橋 宏昌

東京都国分寺市東恋ヶ丘一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100091096

弁理士 平木 祐輔

Fターム(参考) 2G017 AA03 AD52

5D034 AA02 AA03 BA01

5E049 AA04 AA07 AA09 AC05 BA12

BA16 CB01 DB12

5F083 FZ10 HA06 PR04

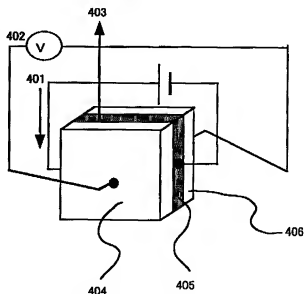
(54) 【発明の名称】 磁界センサー及び磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 ホール効果を用いた磁界センサーで外部磁場を感知する。

【解決手段】 センサー部分に、異常ホール効果の大きいF e n等の化合物材料、閃亜鉛構造を持つ磁性半導体、ペロブスカイト構造を持つ酸化物などの磁性体を含む材料を用いる。膜の電流端子と電圧端子を、膜厚方向と膜面内方向にそれぞれとることで、磁界を膜面内方向に誘導可能な素子形状とする。

図4



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備えることを特徴とする磁界センサー。

【請求項2】 請求項1記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガンを選択された少なくとも1種類の元素を含有する強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【請求項3】 請求項1記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガ、バナジウム、クロムから選択された少なくとも1種類の元素と、ガリウム、砒素、インジウム、アンチモン、シリコン、ゲルマニウム、テルル、酸化亜鉛、チタン酸化物から選択された少なくとも一つを含有する両辺鉛構造をもつ半導体材料との化合物からなる強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【請求項4】 請求項1記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガ、バナジウム、クロムから選択された少なくとも1種類の元素と、ガリウム、砒素、インジウム、アンチモン、シリコン、ゲルマニウム、テルル、酸化亜鉛、酸化チタンの少なくとも一つを含有する半導体材料とを積層することで作製した強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【請求項5】 請求項1記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、ランタン、ストロンチウム、カルシウム、マンガ、ホウ素、銅、酸素から選択された3種類以上の元素を含有するペロブスカイト構造を持つ強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【請求項6】 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、

前記第1の電極と第2の電極の間に電流を流し、前記第3の電極と第4の電極の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁界センサー。

【請求項7】 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、  
前記第3の電極と第4の電極の間に電流を流し、前記第1の電極と第2の電極の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁界センサー。

【請求項8】 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記第1の電極と第2の電極の間に電流を流し、前記第3の電極と第4の電極の間に発生する電圧を検出する素子を複数含み、  
各素子の電圧を検出する電極が直列に接続され、少なくとも1つの素子の電流が他の素子と逆方向に流れるように各電極が接続されていることを特徴とする磁界センサー。

【請求項9】 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記第3の電極と第4の電極の間に電流を流し、前記第1の電極と第2の電極の間に発生する電圧を検出する素子を複数含み、  
各素子の電圧を検出する電極が直列に接続され、少なくとも1つの素子の電流が他の素子と逆方向に流れるように各電極が接続されていることを特徴とする磁界センサー。

【請求項10】 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、  
前記磁界センサーとして請求項1～7のいずれか1項記載の磁界センサーを用いたことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項11】 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、  
前記磁界センサーは、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第1の磁性膜と、前記第1の磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記第2の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第2の磁性膜と、前記第2の磁性膜上に形成された第3の電極膜とを備え、前記第1の磁性膜と第2の磁性膜に媒体対向面に略平行な方向の電流を流し、前記第1の電極膜と第3の電極膜の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項12】 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、  
前記磁界センサーは、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第1の磁性膜と、前記第1の磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記第2の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す



第2の磁性膜と、前記第2の磁性膜上に形成された第3の電極膜とを備え、前記第1の電極膜と第3の電極膜の間に電流を印加し、前記第1の磁性膜と第2の磁性膜に発生する媒体対向面に略平行な方向の電圧を合成して検出することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項13】 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置され媒体対向面に露出した位置から素子高さ方向に伸び磁界を内部に導く磁気ヨーク膜と、磁界センサーを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁気センサーは、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記磁気ヨーク膜の媒体対向面より後退した位置で前記磁気ヨーク膜の切断部に配置されていることを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項14】 請求項11、12又は13記載の磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、媒体面に平行な方向の長さで媒体面に垂直な方向の長さより長いことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項15】 情報を記録する磁界センサー膜と、前記磁界センサー膜に接続したビット線と、前記磁界センサー膜から離れた位置にあって前記磁界センサー膜を挟んで前記ビット線と対向し、かつ、前記ビット線に直交し、前記磁界センサー膜に対して記録動作を行うワード線と、記録信号を増幅する増幅系と、読み出し書き込みのスイッチを行う読み出しワード線とを備えたセルが複数個並列している構造を持つ磁気記憶素子において、前記磁界センサーが異常ホール効果を示す強磁性膜を含む請求項1～9のいずれか1項記載の磁界センサーであることを特徴とする磁気記憶素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁界を感知するための磁界センサー及び磁気ディスクに記録された情報を再生するための磁気ヘッドに関し、特に再生分解能に優れた磁界センサー及び磁気ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】磁気記録再生装置における記録密度は著しい向上を続けており、その磁気記録再生ヘッドは、記録、再生の両特性に関し高性能化の要求が高い。再生素子に関しては、(1)高感度化技術の向上、(2)トラック幅の狭小化技術の向上、及び(3)再生ギャップ間隔の狭小化技術の向上という3点の技術を向上させることが要求されている。(1)については磁気抵抗効果を利用したMRヘッドを進展させることにより高感度化が進められている。数( $\text{Gb/in}^2$ )の低記録密度では異方性磁気抵抗効果(AMR)を用いて記録媒体上の磁気的信号を電気信号に変換していたが、これを超える高記

録密度になると、より高感度の得られる巨大磁気抵抗効果(GMR)を用いてこの高記録密度に対応してきた。GMRを用いた磁気ヘッドに関しては、例えば特開平4-358310号公報にスピントリプルと呼ばれる構造が記されている。スピントリプルは、反強磁性層によって磁化が特定の方向に固定された磁性体からなる固定層と、この固定層に非磁性薄膜を介して積層された磁性膜からなる自由層とで構成されており、固定層と自由層の磁化の相対的な角度で電気抵抗が変化するものである。

【0003】しかしながら、昨今の高感度化の進展により、さらなる高感度化に対処するための新規な再生方式が必要とされている。この候補として現在のところ、高分極率材料や酸化物層をGMR構造の界面に挟んで電子のスピンの多重反射効果により出力の増大をねらったスベキュラーGMRやNOL-GMRと呼ばれるアドバンスGMR効果や、あるいは、膜面に垂直な方向に検出電流を流す方式のGMR(CPP-GMR)や、トンネル磁気抵抗効果(TMR)が有力である。

【0004】これらの効果は、磁気電気効果における磁気抵抗変化現象の応用によるものである。ここで、ホール効果も電気磁気効果の一種であり、物質中を流れる電流に直交する方向に磁界を印加したときに、電流、磁界の両者と直交する方向に電圧が発生する現象である。ホール効果は古くから認知されており、キャリア密度と電子の散乱係数が関与している。今日では、半導体を材料に用い、ホール素子として磁界測定に應用されている。これを磁気ヘッドに応用しようとする試みは特開平2-308409号公報などにも記載されている。この場合、半導体からなるホール素子と同様に、膜面で電流端子と電圧端子の4端子の電極をとり、膜面に垂直な信号磁界を測定する方式と、これを2枚重畳したもので磁気記録のビット間隔よりも素子厚さの狭い構造を用いることで、磁界の反転部分を感知する機構(差動型)が提案されている。また、特開平9-289344号公報に、3d金属の異常ホール効果を利用した磁界センサーとして面内磁気記録に対する基本的な原理が提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】再生素子の将来的構造を考えた場合、記録素子が従来の面内磁気記録方式では十分な記録磁界を出すことが困難である点と、さらに高感度な磁気抵抗センサーであるCPP-GMRやTMRが膜面に垂直なセンス電流を流す構造を利用した磁界センサーであることから、CPP方式のセンス電流を流す構造に移行するようになると考えられる。しかし、このような構造を採用し、磁気抵抗センサー膜の素子面積を小さくした場合に、磁気抵抗センサー素子が微細、薄膜化することでセンサー膜を構成する磁性膜厚の占める体積が小さくなり、その磁化が熱揺らぎによって揺動し、所定の磁化比を確保できなくなるという新たな問題

が生じる。

【0006】ホール効果を用いた場合、基本的に現状の半導体ホール素子材料は磁界に対して出力電圧が線形であることから、広範囲の磁界測定については利点があるが、微小な磁界に対する出力は小さい。また、これらの半導体材料は一般に非磁性（反磁性）であるから、磁界センサーを構成した場合にセンサー部に記録媒体からの漏洩磁界を集中させることが困難であり、感度を上昇させることが困難である。このような膜で高感度の磁界センサーを作る場合は、磁界がセンサー部に集中するような構造にすると、磁場に対する出力が大きいセンサー膜が必要である。

【0007】本発明は、このようなホール効果を用いた磁界センサーの問題点に鑑み、磁気ヘッドあるいはMRAMに適用可能な構造、構成をもつ磁界センサーを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では、異常ホール効果（磁性体ホール効果）を示す材料を用いて磁界センサーを構成する。この磁界センサーは、磁界が印加されることによって異常ホール効果成分を含む信号を検知する。

【0009】図1は、ホール効果をもつ材料と、異常ホール効果をもつ材料についての磁界Bとホール電圧V<sub>H</sub>の関係を示す図である。従来のホール効果（正常ホール効果）を用いた磁界センサー、特にホール素子として使用されているものは、1nsbなどの非磁性の半導体を使用したものであった。このときの出力（ホール抵抗） $\rho_H$ は、図1からもわかるように外部磁界（磁束密度）をBとして

$$\rho_H = R_H B$$

と記述され、外部磁界Bに比例する値である。ここで、 $R_H$ はホール定数で、センサーとなる物質のキャリア密度に反比例する特徴を有する。これに対し、ホール効果をもつ材料が磁性体である場合には、出力（ホール抵抗） $\rho_H$ は、外部磁界（磁束密度）をB、磁性体の磁化をMとして

$$\rho_H = R_H B + R_S M$$

と表される。この $R_S$ は異常ホール定数である。また、この $\rho_H$ は磁化Mに比例する成分をもつ。さらに、 $R_S$ は温度、磁化の揺らぎが関与した値である。従って、低磁界における磁化の磁界依存性が大きい軟磁性特性からなる磁性体では、 $\rho_H$ は磁性体の磁化Mに比例するため、低磁界における異常ホール抵抗の変化、すなわち $R_S$ の値は大きい。よって、低磁界をセンシングするセンサー膜の提供を目的とする本発明では、センサー膜の材料に磁性材料を含む材料を用い、磁性体に特有の異常ホール効果を利用したほうが出力は高い値が得られる可能性がある。

【0010】電流方向、磁界方向、出力電圧方向の関係

について従来は、膜面内の4個所に電極を設けて、膜面に電流を流しながら、膜厚方向に磁界を印加して、このとき膜面の電流方向と直交する方向に発生する電圧を出力として得ていた。通常の膜で磁気ヘッドのような構造への適用を考えた場合、膜面を媒体面に平行にした場合には、媒体対向面のセンサー膜よりも媒体側に電極がある構造をとらなければならないため、通常の磁気ヘッドにおける素子浮上高さに加えて電極膜厚が重畳してセンサー膜と媒体面の距離（実効浮上高さ）が開くために、センサー膜に到達する磁界が弱くなる。これに対し、媒体対抗面側に電極の無いホール素子構造をとることで媒体からの磁界を最小限の損失で感知できる構造を考案した。これは、電流、あるいは電圧を膜厚方向にとることによって可能となる。

【0011】このときに異常ホール効果素子の場合、センサー膜だけが磁性膜なので磁場がセンサー部分に集中しやすい構造である。ただし、磁界集中の効率を向上させるために、周囲を磁気回路構造にして、一部分をセンサー膜にするヨーク構造やフラックスガイド型構造を適用することで磁界に対する出力の効率を向上できる。

【0012】このような異常ホール効果を示す材料として、従来は鉄やコバルト、ニッケルのような3d電子による強磁性金属、合金などが考えられていた。例えば、また、不純物添加した材料による異常ホール効果はしばしば不純物濃度や電気抵抗にほぼ比例して増大する傾向があるため（正比例する成分と二乗比例する成分がある）、不純物添加した金属材料も考えられる。また、最近の研究から、反強磁性体と強磁性体の境界領域の組成をもつLaS<sub>2</sub>MnOやLaCaMnOなどの一部の材料では、電子相関に伴うエネルギーが系の物理的性質を支配し、ある組成近辺で反強磁性になろうとしつつも強磁性体であるといった磁界状態になり、個々のスピンの揺らぎ（ゆらぎ）が大きくなる傾向があり、このとき大きな異常ホール抵抗が見られる場合がある。また、磁性体と半導体を組み合わせた材料から構成される磁性半導体では、大きなモーメントと大きな異常ホール効果が見られることがわかってきた。特に、閃亜鉛型の結晶構造をもつ、III-V族化合物半導体にMnなどの磁性体をドーブした希薄磁性半導体や、ZnOやGa<sub>2</sub>Nに遷移金属をドーブした磁性半導体、その他の閃亜鉛型結晶構造をもつ磁性半導体には、室温で強磁性的挙動を示し、室温での異常ホール定数が $1 \times 10^{-11} \text{V cm} / \text{AG}$ （ボルトセンチメートル/アンペアガウス）以上となる高異常ホール効果材料が存在する。したがって、これらの材料をセンサー部分に用いることで、所望の出力をもつ磁界センサーあるいはこれに応用した磁気デバイスを作ることが可能である。

【0013】本発明による磁界センサー及び磁気ヘッドは以下の特徴を有する。

（1）第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成され

た異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備えることを特徴とする磁界センサー。

(2) (1)記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガンから選択された少なくとも1種類の元素を含有する強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【0014】(3) (1)記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガン、バナジウム、クロムから選択された少なくとも1種類の元素と、ガリウム、砒素、インジウム、アンチモン、シリコン、ゲルマニウム、テルル、酸化亜鉛、酸化チタンから選択された少なくとも一つを含有する閃亜鉛構造をもつ半導体材料との化合物からなる強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

(4) (1)記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガン、バナジウム、クロムから選択された少なくとも1種類の元素と、ガリウム、砒素、インジウム、アンチモン、シリコン、ゲルマニウム、テルル、酸化亜鉛、酸化チタンの少なくとも一つを含有する半導体材料とを積層することで作製した強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【0015】(5) (1)記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、ランタン、ストロンチウム、カルシウム、マンガン、ホウ素、銅、酸素から選択された3種類以上の元素を含有するペロブスカイト構造を持つ強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

(6) 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記第1の電極と第2の電極の間に電流を流し、前記第3の電極と第4の電極の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁界センサー。

【0016】(7) 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記第3の電極と第4の電極の間に電流を流し、前記第1の電極と第2の電極の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁界センサー。

(8) 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4

の電極とを備え、前記第1の電極と第2の電極の間に電流を流し、前記第3の電極と第4の電極の間に発生する電圧を検出する素子を複数含み、各素子の電圧を検出する電極が直列に接続され、少なくとも1つの素子の電流が他の素子と逆方向に流れるように各電極が接続されていることを特徴とする磁界センサー。

【0017】(9) 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記第3の電極と第4の電極の間に電流を流し、前記第1の電極と第2の電極の間に発生する電圧を検出する素子を複数含み、各素子の電圧を検出する電極が直列に接続され、少なくとも1つの素子の電流が他の素子と逆方向に流れるように各電極が接続されていることを特徴とする磁界センサー。

(10) 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーとして請求項1~7のいずれか1項記載の磁界センサーを用いたことを特徴とする磁気ヘッド。

【0018】(11) 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第1の磁性膜と、前記第1の磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記第2の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第2の磁性膜と、前記第2の磁性膜上に形成された第3の電極膜とを備え、前記第1の磁性膜と第2の磁性膜に媒体対向面に略平行な方向の同一方向の電流を流し、前記第1の電極膜と第3の電極膜の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁気ヘッド。

(12) 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第1の磁性膜と、前記第1の磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記第2の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第2の磁性膜と、前記第2の磁性膜上に形成された第3の電極膜とを備え、前記第1の電極膜と第3の電極膜の間に電流を印加し、前記第1の磁性膜と第2の磁性膜に発生する媒体対向面に逆平行な方向の電圧を合成して検出することを特徴とする磁気ヘッド。

【0019】(13) 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置され媒体対向面に露出した位置から素子高き方向に伸び磁界を内部に導く磁気ヨーク膜と、磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁気セン

一は、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離隔した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記磁性ヨーク膜の媒体対向面より後退した位置で前記磁性ヨーク膜の切断部に配置されていることを特徴とする磁気ヘッド。

(14) (11)、(12)又は(13)記載の磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、媒体面に平行な方向の長さが媒体面に垂直な方向の長さより長いことを特徴とする磁気ヘッド。

【0020】(15)情報を記録する磁界センサー膜と、磁界センサー膜に接続したビット線と、磁界センサー膜から離れた位置にあって磁界センサー膜を挟んでビット線と対向し、かつ、ビット線に直交し、磁界センサー膜に対して記録動作を行うワード線と、記録信号を増幅する増幅器と、読み出し書き込みのスイッチを行う読み出しワード線とを備えたセルが複数個並列している構造を持つ磁気記憶素子において、磁界センサーが異常ホール効果を示す強磁性膜を含む前記(1)～(9)のいずれか1項記載の磁界センサーであることを特徴とする磁気記憶素子。

【0021】上記磁界センサー及び磁気ヘッドは、異常ホール効果を示す磁性膜の両面に永久磁石材料からなる、パルコハウゼンノイズを抑制するための磁区制御膜を配置するのが好ましい。本発明の磁気ヘッドは、磁気ディスクに記録再生を行う磁気記録再生装置に組み込むことができる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【実施の形態1】図2は、従来の薄膜ホール素子、ホール効果を用いた薄膜磁界センサーの形態を示す模式図である。これは、膜面内の一方方向201に電流を印加し、膜厚方向202に磁界が加わった場合に、201、202の両方向と直交する203方向に起電力が生じる現象を応用したものであり、膜面に印加された磁界強度が起電力として測定される磁界センサーを構成するものである。このような素子を構成する材料は、磁界-電圧特性の関係が広い磁界範囲で比例関係であるGaAs、InAs、InSbなどの非磁性半導体が報告され、広く実用化されている。

【0023】これに対し、本発明による磁界センサーは、例えば図3に示すような構成を有する。この例の磁界センサーは、センサー膜（異常ホール効果を示す強磁性体を含む膜）305を2枚の電極304、306で挟んだ構造を有し、膜厚方向302に電流を流した状態で面内方向303に磁界を印加したときに、膜面内方向301に発生する出力電圧を感知するものである。センサー膜を構成する材料は、強磁性体あるいは反強磁性性を含

む磁性膜を含む膜により構成された膜であり、構成材料の詳細は後述する。

【0024】また、図4は、本発明による磁界センサーのもうひとつの構成例を示す図である。この例の磁界センサーは、センサー膜（異常ホール効果発生する強磁性体を含む膜）405を2枚の電極404、406で挟んだ構造を有するが、膜の面内方向401に電流を流しながら、これと直交する面内方向403に発生した磁界に対して402の膜厚方向に発生する電圧を感知するものである。センサー膜としては、強磁性体あるいは反強磁性体を含む磁性膜を含む膜を用いる。図3に示した磁界センサーも、図4に示した磁界センサーも、膜断面部分から磁界が侵入する形状である。

【0025】図5に、図3にて説明した磁界センサーの媒体面に対向する面側の素子構造例を示す。また、図6に素子を媒体面の直上から見た構造例を示す。図5を参照すると、基体501上に電極膜502を例えばAr雰囲気中のスパッタリング法で形成し、さらにセンサー膜503を形成する。基体となる材料は、半導体単結晶（GaAs、Si、ドープ半導体（InGaAs）、InP等）、単結晶（MgO、サファイアなど）、ガラス、シリコン酸化物、セラミック等である。基体501がガラス、酸化物、セラミックの場合、基体上に絶縁膜を形成し、これを化学機械研磨（CMP）する方法で平坦化し、この上に磁性体からなるシールド膜を形成したものを基体とした。さらにこれを平坦化するための方法としては、クラスター状イオンを基板面に照射することで膜面を平坦化する処理を施すことによって膜面の平坦性は面粗さ0.1nm程度に低減することが可能であり、これを用いた基板も素子作製の結果有効であった。単結晶基板は上述の表面処理あるいは、真空中で300℃から600℃に基板温度を昇温する加熱処理を施すことで清浄かつ平坦な表面を形成して用いた。センサー膜の作製方法は、例えばスパッタリング法、イオンビームスパッタリング法、MBE、CVDあるいはめっき法を採用することができる。材料に対する詳細は後述する。また、このときの基板温度は、材料によって室温から数100℃の範囲の適当な温度を適宜設定して用いた。例えばFe-NやMnGaAsなどは、基板温度250℃で、CrAsは200℃の温度で作製した。

【0026】このセンサー膜を所定の大きさ、形状にレジストマスクでパターニングし、他の部分にイオンミリング等の除去手段を施した後、レジストを剥離した。例えばこのセンサー膜上にリフトオフパターンを形成した後に、その膜の周辺部分に絶縁膜504/電極膜505/絶縁膜506からなる膜を同様に形成する。この絶縁膜にはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>あるいはSiO<sub>2</sub>を用いた。更に、この上に電極膜507を形成した。電極膜505は、例えばAuからなり、センサー膜503の膜面上で接触している。センサー膜の断面部分で接触している。あるいは、

は、その両方で接触していても、センサー膜上下の電極膜502、507に対して絶縁されていればよい。これら4本の電極の引出し方法は、例えば図6に示されるような形態である。電極材料には、Auのほか例えばCu、Ru、Cr、Ta/Au/Au/Ta、Alなどを用いることができる。この磁界センサーは、電極502、507から膜厚方向に電流を流し、508方向に磁気信号が入るとき電極505、505の間に発生する電圧を出力として感知する。

【0027】図4に示したセンサー構造についても、素子形状としては例えば上述の形を用い、材料としてもほぼ同様なものを使用して構成される。この場合、電極505、505から膜面内に電流を流し、508方向に磁気信号が入るとき電極502と電極507の間に発生する電圧を出力として感知する構造である。

【0028】本実施の形態の素子構造と入射電流に対する出力電圧との関係は、例えば図3の構造で、素子の基体上の形状が $2.0\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m}$ であり、膜厚 $dy$ が $0.2\mu\text{m}$ の場合、電流 $I$ を膜厚方向に流すと、素子の電流が流れる部分の面積が $S = (2.0\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m})$ 、センサー膜の材料として例えば $R_S$ が $10^{-10}\text{V cm} / \text{AG}$ （ポルトセンチメートル/アンペアガウス）の材料を用いた場合、出力電圧 $\Delta V_h$ （V）は次のようになる。

【0029】 $\Delta V_h = R_S \cdot dy \cdot I \cdot M$ （H）/  $S$  すなわち、ある出力 $\Delta V_h$ のとき、これを得るために必要な電流は

$$I = \Delta V_h \cdot S / R_S \cdot dy \cdot M$$

但し、磁界は、媒体記録部から約10nm浮上した位置の磁束密度 $M$ （H）の値10000Gと仮定すると、

$$I = \Delta V_h \cdot S \cdot 10^{-4} / R_S \cdot dy$$

となる。電流値は、最大でも1mAしか流せないと仮定すると、素子面積が $1\mu\text{m}^2$ の場合、 $\Delta V_h$ は2mV以下になる。この値は測定可能な値である。したがって、 $R_S$ が $10^{-10}\text{V cm} / \text{AG}$ であれば、出力として測定可能な値となる。素子が、EBリソグラフなどを用いた現状の技術で約一桁小さくすることが可能であることから、 $R_S$ が $10^{-11}\text{V cm} / \text{AG}$ 以上であれば、素子出力を得る上では妥当な値である。

【0030】さらに、この出力電圧 $\Delta V_h$ を大きくする方法は、（1）電流値を高くするか（2）素子サイズ（5）を小さくする、（3）高磁性材料の適用、（4）高 $R_S$ の材料探索あるいは、（5）膜厚 $dy$ を大きくすることで、2桁以上大きい値の素子を製作することが可能である。これらの素子における出力は、素子構造が同じ場合に、材料を変えた場合には個々の $R_S$ 、 $M$ を用いて上記に示す式によっておおよそ計算される値になる。

【0031】これに対し、図4に示した素子構造、すなわち、電流を面内に、出力端子を膜厚方向にとった場

合、膜厚 $dy$ が $0.2\mu\text{m}$ かつ、 $R_S$ が $10^{-10}\text{V cm} / \text{AG}$ の場合、素子の電流が流れる部分の面積は $0.5\mu\text{m} \times 0.2\mu\text{m}$ となり、出力電圧 $\Delta V_h$ （V）は次のようになる。

$$\Delta V_h = R_S \cdot 2.0 (\mu\text{m}) \cdot I \cdot M (\text{H}) / S = 5 \times 10^{-4} \cdot I$$

【0032】図3の素子構造の場合と単純比較すると $\Delta V_h$ は小さくなるが、素子の膜厚を50nmとして計算することも可能であり、この場合には、 $\Delta V_h$ は $8 \times 10^{-5}$ （V）で、1Vの出力を得るために必要な電流は125mAである。さらに、 $R_S$ が $10^{-9}\text{V cm} / \text{AG}$ では12.5mAと一桁小さくなり、電流に対する出力値としては妥当な値となる。よって、 $\Delta V_h$ は、 $R_S$ が十分大きいときか、あるいは、センサー膜厚がより薄く、幅が狭い場合に大きい値をとる効果が生じるため、単位電流に対する出力は、これらの方法によって向上する可能性がある。従って、センサー膜の形状はできる限り薄くすることと、膜上面からの形状として電流パスがなるべく長くなるような形状が有利である。具体的には、上述したようなサイズにおいては、 $R_S$ は $10^{-10}\text{V cm} / \text{AG}$ 以上であれば、センサーとして必要な条件になると考えられる。

【0033】面内の磁化の回転に必要な磁界は、膜の結晶磁気異方性と、形状で調整することが可能である。軟磁性膜では、形状による効果は、回転楕円体モデルをもちいて近似的に見積もることができる。特に、結晶磁気異方性の困難軸方向に長い形状にすることで、困難軸方向に安定点をつくるということが可能である。形状として、1:2以上の長辺/短辺比をとると、これらは顕著に変化する。上記の異方性と、出力計算から、1:3以上の長辺/短辺比をもつ素子では、出力および磁化の調整が容易な膜が作製されたいえる。

【0034】センサー膜を構成する材料としては、例えば、（1） $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$ 、（2） $\text{MnAs-GaMnAs}$ 、（3） $\text{CdMnTe}$ 、（4） $\text{InMnAs}$ 、（5） $\text{ZnO} + (\text{Mn}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Ti})$ のいずれかひとつ以上、（6） $\text{ZnCoO}$ 、（7） $\text{CrAs}$ 、（8） $\text{LCMO}$ 、 $\text{LSMO}$ 等の強相関電子系材料又は、Mnを含む反強磁性体膜、グラニューラ構造をもつ磁性体からなる膜を用いることができる。

【0035】（1）の膜は、以下のように作製される。超高真空蒸着装置（MBE）中で、200℃に昇温した $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ （001）単結晶基板上にアンモニア20%を含む窒素ガス中で $\text{Fe}$ を $0.01 \sim 0.02$ オングストローム毎秒の速度で蒸着することで作製される。基板は、 $\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 1 : 1 : 3$ からなる液に10秒ほど浸漬し、水洗後、真空中で基板ホルダー裏面温度640℃に加熱し、RHEEDにより表面が清浄面であることを確認した。この材料は、室温での飽和磁化が3.0テスラ、電気抵抗が $32\mu\Omega\text{ cm}$ で

あった。さらに、ファンデアパウの方式でホール効果を測定したところ、 $RA$ は温度上昇にしたがって増加し、室温で約 $2 \times 10^{-11} \text{V cm} / \text{AG}$ の異常ホール定数となった。これは、純 $\text{Fe}$ の3～4倍である。同様の反応性蒸着法を使って、3d金属系の強磁性金属と窒素や炭素、酸素を反応させた化合物を形成することができる。例えば、鉄と窒素からなる $\text{Fe-N}$ マルテンサイト( $\text{N}: 5-11 \text{アトミック}\%$ )でも約 $1.0 \times 10^{-11} \text{V cm} / \text{AG}$ となる。

【0036】(2)から(3)の膜は、MBE法を用いて超高真空中で $\text{GaAs}$ (001)面上に形成される。

(2)について $\text{GaAs}$ に $\text{Mn}$ を5%程度ドーブした化合物膜(最大膜厚約200nm)は、基板上に直接成長すると磁化容易軸が膜面内であるが、 $\text{InGaAs}$ などを含むバッファ層を挟むと垂直に容易軸を持つ膜になることができる。この膜は、現状では100K以下の低温でのみ異常ホール抵抗が $6 \times 10^{-6} \text{V cm} / \text{AG}$ (40K)、150Kでは、これより1～2桁ほど小さい値となる。また、(3)は $\text{CdTe}$ に2%程度の $\text{Mn}$ をドーブした $\text{CdMnTe}$ は磁性半導体の性質を低温で示す。

【0037】(4)から(7)までの膜はイオンビーム法あるいはMBE法で作製することが可能である。ただし、これらの系の特徴的な結晶構造である閃亜鉛型構造を形成するためにはMBE法を用いた成膜がよい。

(4)の $\text{InMnAs}$ は $\text{InAs}$ に $\text{Mn}$ をドーブしたもので、真空中で $\text{GaAs}$ 基板上や $\text{InAs}$ 基板上に基板温度 $500^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ でのスパッタリング法、イオンビーム法で作製する。半導体の不純物によってp型とn型をとるが、p型のは低温で強磁性となり異常ホール効果を持つ。 $RS$ は、 $10^{-10} \text{V cm} / \text{AG}$ の範囲である。(5)はワイドギャップ型の半導体といわれる $\text{ZnO}$ に遷移金属をドーブしたものである。第一原理による理論計算では $\text{Mn}$ をドーブすると反強磁性や強磁性を示し、 $\text{V}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$ をドーブすると常磁性となるとことが報告されている。 $\text{GaNi}$ に $\text{Mn}$ をドーブするものも強磁性を示す可能性があると考えられている。これらのうち顕著な例として、(6)の $\text{ZnCoO}$ は室温でも強磁性を示し、異常ホール定数を示す。(7)の $\text{CrAs}$ は $\text{GaAs}$ (100)上にエピタキシャル成長し、室温で強磁性体である。その他、 $\text{MnSb}$ も、直径100nm程度のグラニュー構造を薄膜状態で形成したものについては室温で強磁性を示すことが確認されており、異常ホール定数も本発明の範囲のものが得られる。

(8)は組成、温度により強磁性、反強磁性、超伝導を取りうるものである。特に反強磁性と強磁性体を発現する組成付近で、スピンの揺らぎが大きく、異常ホール効果が大きくなる領域(例えば $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ 、 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ )が存在する。さらに、例えば(3)の膜を $\text{GaAs}$ と $\text{MnGaAs}$ との薄膜を多層にしたものについても同様の特性を示す。

【0038】異常ホール効果のホール定数 $RS$ は、近藤理論によれば磁化の揺らぎの3乗依存性をもつため、特にスピンの揺らぎが大きくなる状態になると異常ホール定数自体が大きくなる。上記のほとんどの場合で、電子のクローン相互作用が特異的に大きくなっていたり(強相関電子状態)、強制的にスピン間の相互作用が弱められている状態になっており、異常ホール定数を大きくしていると考えられる。この、材料を薄膜化、微細化した場合、電子数に関するスケーリング則が成り立たなくなり、スピンの揺らぎが大きくなると予想される。実際、同様にスピン揺らぎを大きくするために高温にしたときの異常ホール効果は図7に示すように大きくなることを確認している。異常ホール定数は、図7に示すように、 $RT$ (room temperature)において、温度が高くなると上昇する場合が多い。特に、上記材料のうち、(1)

(5)(6)(7)はこのパターンを示す。それ以外の材料は図7のピークが室温より低い温度にあるため、低温での異常ホール係数値が大きいものとなる。

【0039】【実施の形態2】図3あるいは図4の構造を持つ2つ以上の、同形、同サイズの素子の出力端子を直列に配し、少なくとも一つの電流導入端子の極性を他と逆方向に流れるようにした素子を作製した。

【0040】図8はこの一例を示すもので、図3の構造をもつ同構造、同サイズ、同型の磁界センサーを2個配置し、面内の出力端子(301)を直列に配置し、電流端子(302)は膜厚のそれぞれ逆向きに直列に電流802が通るように配置したセンサーの原理図である。センサー膜の材料は実施の形態1において述べたものと同様である。また、素子の構造としてみれば電流端子の一端が逆向きに接続されるだけであり、同一基板上に形成する場合は容易に形成することができるので、素子の詳細な製造工程の説明は省略する。

【0041】この構造を持つ磁界センサーは、その設置される状況により機能が異なると考えられる。一例では、測定したい磁界を擾乱する磁界が外界に存在する場合で、一方の素子を測定したい磁界のある場所に置き、他方の素子を測定したい磁界を擾乱する磁界が存在する場所に置くことで、擾乱する磁界による異常ホール電圧出力成分を相殺して測定したい磁界のみを検出することのできる磁界センサーとなる。すなわち、測定したい磁界のある場所に置かれた素子は、測定したい磁界に擾乱磁界が重畳した磁界803を検出する。他方、測定したい磁界を擾乱する磁界が存在する場所に置かれた素子は、擾乱磁界804を検出する。その結果、磁界センサーの出力電圧801は磁界803から擾乱磁界804を差し引いた測定したい磁界の強度を指示することになる。

【0042】この磁界センサーの使用法の一例を説明すると、磁気ヘッドのセンサー部に一つのセンサー膜を配置し、センサー部分から離れた位置にもう一つのセンサーを配置するような使用法である。この磁界センサー

は、例えば地磁気や再生したい磁気記録部分以外の記録部分による平均的外場の影響を差し引いて磁界を測定したい場合に有効である。

【0043】図9に、同形、同サイズの2個のセンサー膜を用いた磁界センサーの他の構造例を示す。図9に示した磁界センサーは、間に電極膜を挟んで積層した2枚のセンサー膜903、903を更に一對の電極膜904、904で挟持した構造を有する。異常ホール効果を発生する強磁性体を含む2枚のセンサー膜903、903の膜面方向に電流901を印加し、外部磁界との相互作用によって膜厚方向に発生する異常ホール電圧902を直列的に検出する。

【0044】2枚のセンサー膜903、903を磁気ディスクの記録トラック幅よりも小さい幅で配置し、この磁界センサーを磁気ディスクの再生ヘッドとして用いると、出力信号を微分的に得ることができ。

【0045】センサー膜903、903に同じ方向に電流を流した場合について以下述べる。この磁界センサーを磁気ディスクの再生ヘッドに適用した場合、素子の厚さが記録部分の幅よりも小さいとき、媒体面に垂直に記録磁化907がある垂直磁気記録媒体905を再生した場合の出力（ホール電圧）は出力波形908aに示すような場所依存性を示し、媒体面に記録磁化がある面内磁気記録媒体906を再生した場合には出力波形908bに示すような場所依存性を示す。電流901の方向を逆に取ると、垂直磁気記録媒体905に対する出力は波形908bに示した場所依存性となり、面内磁気記録媒体906に対する出力は波形908aに示した場所依存性となる。このように本実施形態の磁界センサーは、面内記録媒体に対しても、垂直記録媒体に対しても、再生ヘッドとして使用することが可能である。

【0046】【実施の形態3】本発明の磁界センサーを磁気ヘッドに応用した場合の例について説明する。磁界センサーに用いる異常ホール効果を発生する磁性体を含む膜は、例えば図6に示すような膜構造をもち、例えば実施の形態1にて提示した構造をもつ。膜厚はヘッド応用と実用的出力のために、膜厚1nmから100nmの適当な膜厚とした。本実施例の場合、膜厚15nmの膜を用いた。

【0047】これらの磁界センサーを用いた磁気ヘッド構造は、インギャップタイプとよばれるセンサーがシールド間に挟まれた構造が、媒体対向面に露出した形状のヘッド構造であっても、ヨーク構造と呼ばれるセンサーが露出せず、例えばアルファベットのC文字型形状の軟磁性体からなるヨークの奥にセンサーを配置したヘッド構造でも、（1）電極をシールドと兼用したもの、

（2）電極とシールドとを分離したものに大別され、さらに、それぞれについて、（A）磁区制御のある構造、（B）磁区制御無しに構造が考えられる。

【0048】図10に、上記の（1）電極をシールドと

兼用したインギャップ形状の素子の媒体対向面の模式図を示す。膜形成後に感磁部となる場所（例えば下部シールド兼電極膜面1001上）にリフトオフ材料を塗布し、形成した後、イオンミリング法などの方法でこれらのセンサー膜（異常ホール効果発生する強磁性体を含む膜）1005をエッチングする。エッチング後に絶縁膜1002/電極膜1006/絶縁膜1007を膜形成し、リフトオフマスクを除去する。

【0049】このほか、CoCrPt、CoCrPtZrO<sub>2</sub>などによってなる磁区制御膜1003を絶縁膜1002と電極膜1006の間か、絶縁膜1004の下あるいは上につけると、よりセンサー膜の磁区挙動によるノイズを防ぐことができるため、磁界測定精度を高めることができる。ここでCrやTaなどの適当な下地上に磁区制御膜1003を形成すると磁区制御膜の特性に関し有効である場合があった。この後、磁区制御膜、センサー部の素子高さ方向のバターンを形成し、周囲の部分をイオンミリングで除去し、この上に保護絶縁膜1007として例えばAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とSiO<sub>2</sub>の混合膜を100nm形成し、上部シールド膜兼電極膜1008を形成する。

【0050】図11に、上記（2）の電極とシールドとを分離したインギャップ形状の素子の媒体対向面の模式図を示す。この場合、例えば下部シールド1101を形成後、リフトオフパターンで周囲を掘り込み、そこに磁区制御膜1103を形成し、CMPで平坦化した上にギャップ絶縁膜1104を形成し、電極膜1105、センサー膜1106を形成し、素子形状に加工して、周囲に絶縁膜1107を形成し、素子部分にリフトオフパターンを形成して、このうえに横からの電極膜1108、絶縁膜1109を形成し、リフトオフパターンを剥離した後上部電極1111、絶縁膜1109（上部ギャップ膜1110）上部シールド1112形成という手順で作製することができる。1102は絶縁膜である。

【0051】図12は、代表的なヨーク構造と、磁区制御膜を模式的に表した立体図である。1208の矢印は素子の各方向を示し、1209はトラック幅方向、1210は膜厚方向、1211は素子高さ方向を示す。

【0052】図示の構造は、媒体に対向した面に磁気センサー膜1205が露出しない構造をとっている。ここで、図に示すNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>からなる下部磁気シールド1203と上部磁気シールド1207に挟まれたギャップに、同様の軟磁性材料からなるヨーク膜が挟まれた構造を作製した。ヨーク膜は、図12では上部ヨーク1206と下部ヨーク1202が接合したCリング形状になっている。このほかにも、下部ヨークを先端で絞った形式や、厚膜にした形式、ヨークが磁界センサー下で不連続になっている構造がある。図中、磁区制御膜として1201が示されている。これによって、少なくとも下部のヨーク1202と磁気センサー膜1205は磁区制御さ

れ、かつ、周囲の分流は無い。この磁区制御膜1201の構造としては、上下ヨーク膜と磁気センサー膜を同時に磁区制御する形式と、それぞれを磁区制御する構造のいずれでも分流の無い、良好な磁区制御が可能である。

【0053】図12にはヨーク構造の磁区制御膜の位置を簡略に示したが、実際には、図10あるいは図11のような構造に作製される。また、図13あるいは図14に示すように、磁気センサー膜にセンスされる磁束の量を増すために、ヨークのセンサー膜に接する部分を不連続にした構造でも、磁区制御膜の材料を高抵抗膜にすることによって、磁区制御膜を形成する事が可能である。これらの磁界センサーは、半導体をセンサー膜として使用した場合に比べて、センサー膜の透磁率が1000倍程度になるために、媒体からの磁界を効率良く活用することが可能である。

【0054】本構造ではセンスする磁界はセンサー膜の面内方向に印加される成分であることから、垂直磁気記録されたものであれば、記録の漏れ磁界、また、面内記録されたものでは記録端部の漏れ磁束をセンスする構造を作ることができる。

【0055】本実施の形態では上記記載の磁気センサー膜を用い、再生シールド間隔（ギャップ間距離）が80nm以下でも磁気抵抗変化膜と磁区制御膜の導通による再生特性の劣化は認められなかった。

【0056】【実施の形態4】図15は、本発明による磁気ヘッドを用いた磁気ディスク装置の一例を示す模式図である。この磁気ディスク装置は、同心円状のトラックとよばれる記録領域にデータを記録するための、ディスク状に形成された磁気記録媒体としての磁気ディスク1501と、磁気トランスデューサーからなり、上記データの読み取り、書き込みを実施するための本発明による磁気ヘッド1506と、磁気ヘッド1506を支える磁気ディスク1501上の所定位置へ移動させるアクチュエーター手段1511と、磁気ヘッドが読み取り、書き込みするデータの送受信及びアクチュエーター手段の移動などを制御する制御手段1505とを備える。少なくとも一回転可能な磁気ディスク1501は回転軸1502によって支持され、駆動用モーター1503によって回転せられる。少なくとも一個のスライダ1509は磁気ディスク1501上に設置され、スライダ1509は本発明による磁界センサー1510を支持している。

【0057】磁気ディスク1501が回転すると同時に、スライダ1509がディスク表面を移動することによって、目的とするデータが記録されている所定位置へアクセスされる。スライダ1509は、ジンバル1507によってアーム1508に取りつけられる。ジンバル1507はわずかな弾力性を有し、スライダ1509を磁気ディスク1501に密着させる。アーム1508はアクチュエーター1511に取り付けられる。

【0058】アクチュエーター1511としてはボイスコイルモーター（以下、VCMという）を用いる。VCMは固定された磁界中に置かれた移動可能なコイルからなり、コイルの移動方向及び移動速度等は、制御手段1505からライン1504を介して与えられる電気信号によって制御される。したがって、本実施例によるアクチュエーター手段は、例えば、スライダ1509とジンバル1507とアーム1508とアクチュエーター1511とライン1504を含み構成されるものである。

【0059】磁気ディスクの動作中、磁気ディスク1501の回転によってスライダ1509とディスク表面の間に空気流によるエアベアリングが生じ、それがスライダ1509を磁気ディスク1501の表面から浮上させる。したがって、磁気ディスク装置の動作中、本エアベアリングはジンバル1507のわずかな弾力性とバランスをとり、スライダ1509は磁気ディスク表面にふれずに、かつ磁気ディスク1501と一定間隔を保って浮上するように維持される。

【0060】通常、制御手段1505はロジック回路、メモリ、及びマイクロプロセッサなどから構成される。そして、制御手段1505は、各ラインを介して制御信号を送受信し、かつ磁気ディスク装置の種々の構成手段を制御する。例えば、モーター1503はライン1504を介し伝達されるモーター駆動信号によって制御される。アクチュエーター1511はライン1504を介したヘッド位置制御信号及びシーク制御信号等によって、その関連する磁気ディスク1501上の目的とするデータトラックへ選択されたスライダ1509を最適に移動、位置決めするように制御される。

【0061】そして、データ再生/復号系1512は、磁気ヘッド1506が磁気ディスク1501のデータを読み取り変換した電気信号を、ライン1504を介して受信し解読する。また、磁気ディスク1501にデータとして書き込むための電気信号を、ライン1504を介して磁気ヘッド1506に送信する。すなわち、データ再生/復号系1512は、磁気ヘッド1506が読み取り又は書き込みする情報の送受信を制御している。また、制御信号として例えばアクセス制御信号及びクロック信号などがある。さらに、磁気ディスク装置は複数の磁気ディスクやアクチュエーター等を有し、アクチュエーターが複数の磁気ヘッドを有してもよい。このような複数の機構を兼ね備えることによって、いわゆるディスクレイアウト装置を形成することが可能である。

【0062】【実施の形態5】図16は、本発明の磁界センサーを用いたMRAM構造の磁気記憶素子の一例を示す模式図である。図示したMRAM構造は、情報を記録する磁界センサー1606と、磁界センサーに接続し素子に電流を流す線1609と、センサー膜と接続し、該1609からの電流に対し、略平行な方向に端子を持って、出力電圧信号を伝えるビット線1607と、セン



素子膜 1606 を挟んでビット線 1607 と対向した位置の、センサー膜 1606 から離れた位置にあって、かつ、ビット線に直交し、センサー膜に記録動作を行うワード線 1605 と、記録信号を増幅する増幅系 1601、1602、1603、1604、1610 と、読み出し、書き込みのスイッチをおこなう読み出しワード線 1611 を備えたセルが、複数個並列している構造を持つ。この磁気記憶素子は、磁界センサー 1606 を構成する膜として、発明の実施の形態 1 に示すような異常ホール効果をもつ磁性体を含む磁界センサーを適用したものである。

【0063】はじめに、MRAM の動作原理を示すため、センサー膜に MR 膜を用いた場合の一例を図 17 に示す。磁界センサー膜の磁化ベクトルを駆動するために必要な駆動線として、銅線からなる互いに直交した配線（図 17）を設ける。これを、それぞれワード線 1705、ビット線 1707 と称する。一般的には、磁界センサー膜 1706 の磁化容易軸と平行に配置されている線をワード線、そして、ワード線と直交する線をビット線と定義する。このとき膜中の磁化ベクトルは磁化容易軸に平行に（1）か（0）の抵抗値の異なる状態をとる。この抵抗値の異なる状態は、通常の MRAM では、（A）膜面の一方と、膜厚方向が磁化容易軸になるような構造を持ち、電流と磁界の方向との関係が平行と直交になるような構造か、あるいは、（B）センサー膜が GMR の SV 膜のような二枚の磁性膜からなり、両者の磁化方向が平行状態と直交状態をとるような構造で実現される。ワード線およびビット線は、電流が流れることで周囲に磁界が発生し、ワード線とビット線に挟まれたセンサー膜に作用する磁界を発生する。ワード線にパルス電流を流すときその立ち上がり時をタイミングとして情報を信号として取り出す。また、パルスの立下り時を契機にビット線を通して書き込みを行うものである。ワード線の電流は、センサー膜における作用磁界が薄膜の異方性磁界を超える電流で、ビット線の電流は磁性センサー膜の保磁力の  $1/2$  を越える程度の磁界を発生させるために必要な電流である。

【0064】ここで、ワード線に必要な電流を流し、その線の下にあるすべてのセンサー膜に磁界を印加する。このときセンサー膜の磁界は面内の磁化困難方向を向くことになる。このとき磁化の状態を平行（1）の状態から回転したか、直交（0）の状態から回転したかで各ビット線にはそれぞれ異なる極性のパルス電圧が誘導される。これが、読み出し電圧となる。また、記録時はワード線のパルス電流の立下りタイミングをおわせてビット線にパルス電流を流し、磁化が困難軸を向いた状態で、ビット線からの磁界で磁化の向きを決定し（1）や（0）の状態を記録する。

【0065】ここで図 16 に戻り、CMOS 用半導体基板 1601 として、GaAs 基板を用い、この上に p

型、n 型となる不純物をドーブし、さらに両ドーブ領域に挟まれた部分に電極（ゲート膜）1610 を設けてトランジスタ（MOS トランジスタ）を形成する。このトランジスタを形成するドレイン側を 1602、ソース側を 1603 とした。このトランジスタのスイッチ動作により、ワード線やビット線に流れるパルス電流の動作が決定する。

【0066】ここで、このセンサー膜に本発明による異常ホール素子膜を適用し、膜面内に電流が流れるように電極を配置し、センサー膜の磁化容易軸が面内で  $90^\circ$  離れた位置にあり、磁化が電流に対して平行と直交の状態をとるため、MRAM の挙動を示す。ただし、困難軸との磁気異方性を調整するため、素子形状を例えば、困難軸方向に異方的に伸ばす等することが必要な場合もある。

【0067】そうすると、電流は膜面垂直方向に流れるか、あるいは膜面の一方向に流れるので、同様の磁界センサーとして使用できる。また、磁界センサー素子の大きさは一辺が  $0.2 \sim 0.25 \mu\text{m}$  である。1 BM による TMR をセンサー膜に用いた構造では、消費電力  $5 \text{ mW}$ （読み出し）、 $40 \text{ mW}$ （書き込み）、書き込み時間が  $10 \text{ ns}$ 、読み出し時間が  $10 \text{ ns}$  程度で、セル面積が  $49 \text{ F}^2$  のセンサが作成されているが、異常ホール効果膜をこの構造に適用すれば、速度等は同程度で、さらにセンサー膜の抵抗値を低減させるため、消費電力が低く抑えられる可能性がある。このセンサー膜の磁化方向を回転させる時に、磁区が発生すると、磁界に対する抵抗値が変動し、 $S/N$  が低下するために、記憶が読み出せなくなる。これを制御性良く行うためには磁区制御膜を必要とする。この磁区制御膜を 1606 の磁界センサーの両端に位置することにより、磁区制御膜への分流失失無しに磁区制御することが可能である。

【0068】

【発明の効果】本発明によると、異常ホール効果を磁界センサー、磁気ヘッド、記憶素子のセンサー部、磁気記録再生装置として利用することができ、素子サイズが小さい場合でも高い出力が期待できる。異常ホール効果自体が素子が小さくなったときに出力増大する傾向があり、高密度記録に対応する上で有効である。また、本発明の磁界センサーは、媒体の記録方式によらずヘッドとして活用できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】一般的な半導体のホール電圧の磁界依存性を、異常ホール効果の場合と併せて示した図。

【図 2】従来のホール効果を用いた薄膜磁界センサーの電流、磁界、出力の関係を示す構造図。

【図 3】本発明による異常ホール効果を用いた薄膜磁界センサーの電流、磁界、出力の関係を一例を示す構造図。

【図 4】本発明による異常ホール効果を用いた薄膜磁界

センサーの電流、磁界、出力の関係の他の例を示す構造図。

【図5】本発明による磁界センサーの一例を媒体対向面側から見た断面模式図。

【図6】本発明による磁界センサーの一例を膜面上方からみた図。

【図7】異常ホール効果の温度依存性を示す図。

【図8】本発明による異常ホール効果を用いた薄膜磁界センサーの他の例の電流、磁界、出力の関係を示す構造図。

【図9】本発明による再生ヘッドの他の例の構造図、及び媒体の磁気記録状態とVhの場所依存性を示した図。

【図10】本発明によるインギャップ型の異常ホール効果を用いた磁気ヘッドの構造例を示す媒体対向面側の構造図（電極とシールドが兼用の場合）。

【図11】本発明によるインギャップ型の異常ホール効果を用いた磁気ヘッドの構造例を示す媒体対向面側の構造図（電極とシールドが別の場合）。

【図12】ヨーク構造の例を示す図。

【図13】ヨークと磁界センサーとの位置関係の一例を示す図。

【図14】ヨークと磁界センサーとの位置関係の他の例を示す図。

【図15】磁気記録再生装置の構造と動作の模式図。

【図16】本発明による磁気センサーを用いたMRAMの構造の模式図。

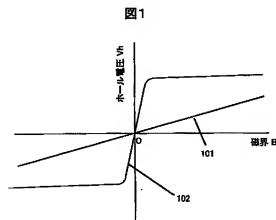
【図17】センサー膜にMR膜を用いたMRAMの模式図。

【符号の説明】

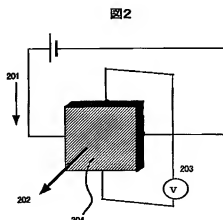
101：（正常）ホール効果、102：異常ホール効果、201：電流印加方向、202：磁場印加方向、203：ホール電圧、204：半導体膜、301：異常ホール電圧、302：電流印加方向、303：磁場印加方向、304：電極、305：センサー膜、306：電極、401：電流印加方向、402：異常ホール電圧、

403：磁場印加方向、404：電極、405：センサー膜、406：電極、501：基体、502：電極、503：センサー膜、504：絶縁体、505：電極、506：絶縁体、507：上部電極、508：磁界印加方向、801：異常ホール電圧、802：電流印加方向、803：磁界印加方向、804：磁界印加方向、901：電流印加方向、902：異常ホール電圧、903：センサー膜（異常ホール効果発生する強磁性体を含む膜）、904：電極、905：磁気記録媒体（垂直記録）、906：磁気記録媒体（面内記録）、907：磁化の方向、908a、908b：ホール電圧（出力）、1001：下部シールド兼電極膜、1002：絶縁膜、1003：磁区制御膜、1004：絶縁膜、1005：センサー膜、1006：電極膜、1007：絶縁膜、1008：上部シールド兼電極膜、1101：下部シールド、1102：絶縁膜、1103：磁区制御膜、1104：絶縁膜（ギャップ膜）、1105：下部電極膜、1106：センサー膜（異常ホール効果発生する強磁性体を含む膜）、1107：絶縁膜、1108：電極膜、1109：絶縁膜、1110：絶縁膜（上部ギャップ膜）、1111：電極膜、1112：上部シールド膜、1201：磁区制御膜、1202：下部磁気ヨーク、1203：下部磁気シールド、1205：磁気抵抗センサー膜、1206：上部磁気ヨーク、1207：上部磁気シールド、1501：磁気ディスク、1502：回転軸、1503：モーター、1504：ライン、1505：制御手段、1506：磁気ヘッド、1507：ジンバル、1508：アーム、1509：スライダ、1510：磁界センサー、1511：アクチュエーター、1512：制御手段、1601：CMOS用半導体基板、1602：ドレイン膜、1603ソース膜、1604：ゲート膜、1605：ワード線、1606：磁界センサー（異常ホール効果）膜、1607：ビット線、1608：導電部、1609：電流印加線、1610：ゲート制御電圧印加用電極、1611：読み出しワード線

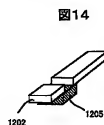
【図1】



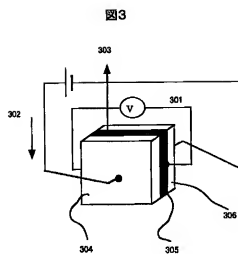
【図2】



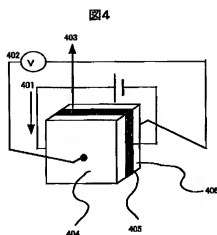
【図14】



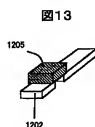
【図3】



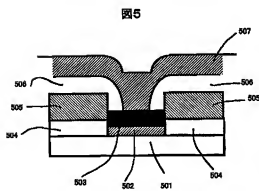
【図4】



【図13】

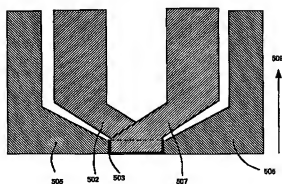


【図5】



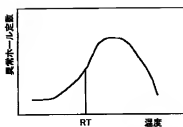
【図6】

図6



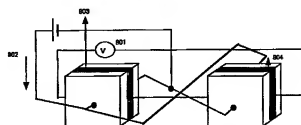
【図7】

図7

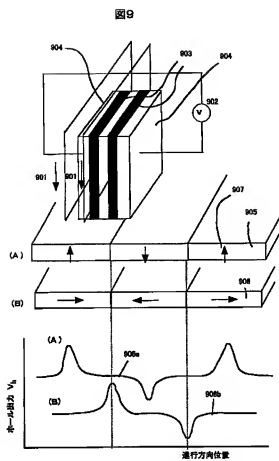


【図8】

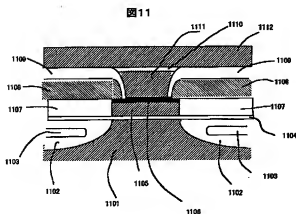
図8



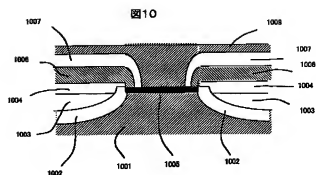
【圖9】



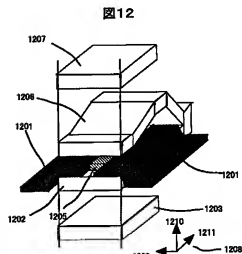
【圖 1 1】



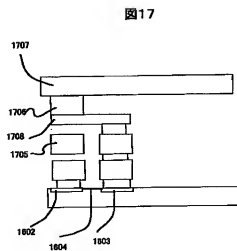
【図 10】



【圖 1 2】

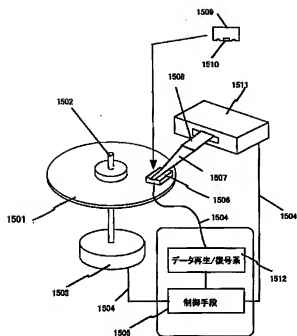


【圖 17】



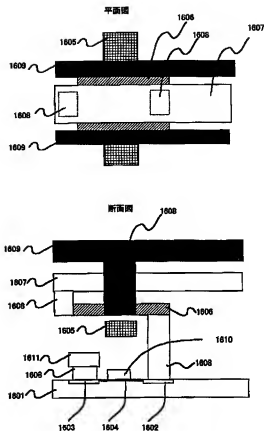
【図15】

図15



【図16】

図16



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H 0 1 L 27/105

43/04

43/10

識別記号

F I

H 0 1 L 43/10

27/10

G 0 1 R 33/06

テマコード (参考)

4 4 7

H